

Chapitre E

La distribution BT

Sommaire

1	Les schémas des liaisons à la terre	E2
	1.1 Les liaisons à la terre	E2
	1.2 Définition des schémas des liaisons à la terre (SLT) normalisés	E3
	1.3 Caractéristiques des schémas TT, TN et IT	E6
	1.4 Critères de choix des schémas TT, TN et IT	E8
	1.5 Méthode de choix, mise en oeuvre	E11
	1.6 Réalisation et mesure des prises de terre	E12
2	Le système d'installation	E16
	2.1 Les tableaux	E16
	2.2 Les canalisations	E19
3	Influences externes (CEI 60364-5-51 et NF C 15-100 partie 5-51)	E27
	3.1 Définition et normes	E27
	3.2 Classification	E27
	3.3 Liste des influences externes	E27
	3.4 Degrés de protection procurés par les enveloppes des matériels : codes IP et IK	E30

E1

Nota :

Les spécificités des normes et réglementations françaises sont présentées sur un fond gris.

1 Les schémas des liaisons à la terre

Le raccordement à la prise de terre des éléments conducteurs d'un bâtiment et des masses des appareils électriques contribuent à éviter l'apparition de toute tension dangereuse entre les parties simultanément accessibles.

1.1 Les liaisons à la terre

Définitions

La norme CEI 60364 définit de façon claire et précise les différents éléments mis en œuvre dans les liaisons à la terre.

En France, la norme NF C 15-100 et le décret sur la protection des travailleurs du 14 novembre 1988 définissent les éléments mis en œuvre dans les liaisons à la terre de façon claire et précise.

Voici extraits les principaux termes utiles. Les numéros renvoient à la représentation de ces éléments sur la **Figure E1**.

- **Prise de terre (1)** : corps conducteur enterré, ou ensemble de corps conducteurs enterrés et interconnectés, assurant une liaison électrique avec la terre.
- **Terre** : masse conductrice de la terre, dont le potentiel électrique en chaque point est considéré comme égal à zéro (référence théorique).
- **Prises de terre électriquement distinctes** : prises de terre suffisamment éloignées les unes des autres pour que le courant maximal susceptible d'être écoulé par l'une d'elle ne modifie pas le potentiel des autres.
- **Résistance de terre ou résistance globale de mise à la terre** : résistance entre la borne principale de terre (6) et la terre.
- **Conducteur de terre (2)** : conducteur de protection reliant la borne principale de terre à la prise de terre.
- **Masse** : partie conductrice d'un matériel électrique susceptible d'être touchée par une personne, qui n'est normalement pas sous tension mais peut le devenir en cas de défaut d'isolement des parties actives de ce matériel.
- **Conducteur de protection (3)** : conducteur prescrit dans certaines mesures de protection contre les chocs électriques et destiné à relier électriquement certaines des parties suivantes :
 - masses,
 - éléments conducteurs,
 - borne principale de terre,
 - prise de terre,
 - point de mise à la terre de la source d'alimentation ou point neutre artificiel.
- **Élément conducteur (4)** étranger à l'installation électrique (par abréviation, élément conducteur) : sont considérés notamment comme éléments conducteurs :
 - le sol ou les parois non isolantes, les charpentes ou armatures métalliques de la construction,
 - les canalisations métalliques diverses (eau, gaz, chauffage, air comprimé, etc.) et les matériels métalliques non électriques qui leur sont reliés.
- **Conducteur d'équipotentialité (5)** : conducteur de protection assurant une liaison équipotentielle.
- **Borne principale ou barre principale de terre (6)** : borne ou barre prévue pour la connexion aux dispositifs de mise à la terre de conducteurs de protection, y compris les conducteurs d'équipotentialité et éventuellement les conducteurs assurant une mise à la terre fonctionnelle.

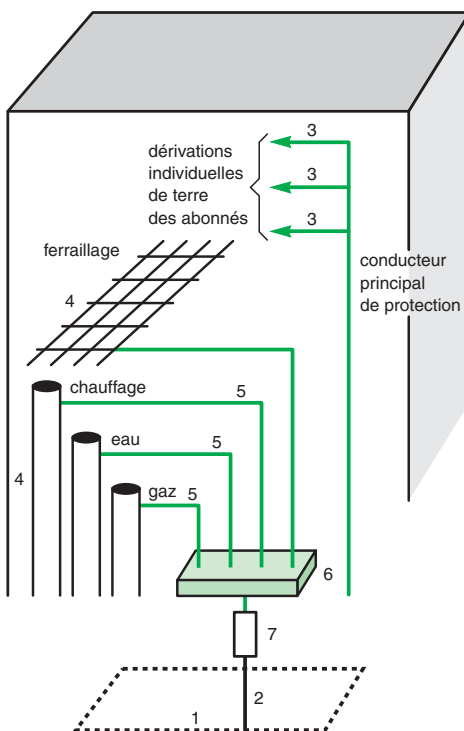


Fig. E1 : Dans cet exemple, un immeuble, la borne principale de terre (6) assure la liaison équipotentielle principale. La barrette de coupure (7) doit permettre de vérifier la valeur de la résistance de terre

Raccordements

La liaison équipotentielle principale

Elle est réalisée par des conducteurs de protection.

Ils permettent d'éviter que, par suite d'un défaut d'origine externe au bâtiment, une différence de potentiel n'apparaisse entre des éléments conducteurs dans le bâtiment.

Elle est reliée au conducteur principal de terre et doit être réalisée à proximité de la pénétration des conduits métalliques dans le bâtiment. Le raccordement des gaines métalliques des câbles de communication nécessite l'autorisation de leurs propriétaires.

La liaison équipotentielle supplémentaire

Elle est destinée à relier entre eux les masses et les éléments conducteurs simultanément accessibles lorsque les conditions de protection ne peuvent être respectées.

Raccordement des masses aux prises de terre

Les conducteurs de protection assurent ce raccordement et écoulent à la terre les courants de défaut.

E2

1 Les schémas des liaisons à la terre

Les composants (cf. Fig. E2)

La réalisation des liaisons à la terre de toutes les parties métalliques accessibles est très importante pour la protection contre les chocs électriques.

Composants à considérer :	
comme des masses	comme des éléments conducteurs
canalisations <input checked="" type="checkbox"/> conduits M (MRB - MSB) <input checked="" type="checkbox"/> câbles isolés au papier imprégné sous plomb nu ou sous plomb armé sans autre revêtement <input checked="" type="checkbox"/> conducteurs blindés à isolant minéral	éléments utilisés dans la construction des bâtiments <input checked="" type="checkbox"/> métalliques ou en béton armé : <input type="checkbox"/> charpente <input type="checkbox"/> armature <input type="checkbox"/> panneaux préfabriqués armés <input checked="" type="checkbox"/> revêtements des surfaces : <input type="checkbox"/> sols et murs en béton armé sans autre revêtement <input type="checkbox"/> carrelages <input type="checkbox"/> revêtements métalliques <input type="checkbox"/> parois métalliques
appareillage <input checked="" type="checkbox"/> châssis de débouchage	
appareils d'utilisation <input checked="" type="checkbox"/> parties métalliques extérieures des appareils de classe I	
éléments non électriques <input checked="" type="checkbox"/> huisseries métalliques si elles servent au passage des canalisations avec des conduits MRB, MSB <input checked="" type="checkbox"/> objets métalliques : <input type="checkbox"/> à proximité des conducteurs aériens ou jeux de barres <input type="checkbox"/> au contact d'équipement électrique	éléments entrant dans l'environnement de la construction des bâtiments <input checked="" type="checkbox"/> canalisations métalliques de gaz, d'eau, de chauffage <input checked="" type="checkbox"/> les appareils non électriques qui y sont reliés (fours, cuves, réservoirs, radiateurs) <input checked="" type="checkbox"/> huisseries métalliques dans salle d'eau <input checked="" type="checkbox"/> papiers métallisés
Composants à ne pas considérer :	
comme des masses	comme des éléments conducteurs
<input checked="" type="checkbox"/> conduits en matériau isolant <input checked="" type="checkbox"/> moulures en bois ou matière isolante <input checked="" type="checkbox"/> conducteurs et câbles ne comportant aucun revêtement métallique <input checked="" type="checkbox"/> les enveloppes isolantes extérieures des matériels électriques lorsqu'elles ne sont pas en contact avec un élément conducteur <input checked="" type="checkbox"/> tous les appareils de la classe II quel que soit le type d'enveloppe extérieure	<input checked="" type="checkbox"/> parquets en bois <input checked="" type="checkbox"/> revêtements de sol en caoutchouc ou en linoléum <input checked="" type="checkbox"/> parois en plâtre sec <input checked="" type="checkbox"/> murs en briques <input checked="" type="checkbox"/> tapis et moquettes

Fig. E2 : Liste des masses et éléments conducteurs

Le choix d'un schéma des liaisons à la terre (ou régime de neutre) conditionne les mesures de protection des personnes contre les contacts indirects.

1.2 Définition des schémas des liaisons à la terre (SLT) normalisés

Les Schémas des Liaisons à la Terre - SLT - (ou régimes de neutre) caractérisent le mode de raccordement à la terre du neutre du secondaire du transformateur MT/BT et les moyens de mise à la terre des masses de l'installation en fonction desquels sont mises en oeuvre les mesures de protection des personnes contre les contacts indirects.

Les schémas de liaisons à la terre formalisent trois choix initialement indépendants faits par le concepteur d'une distribution électrique ou d'une installation concernant :

- le mode de raccordement
- de l'installation électrique (généralement du point neutre de l'installation),
- et de la mise à la terre des masses.
- un conducteur de protection (PE) séparé ou un conducteur de protection et un conducteur neutre confondu (PEN),
- l'utilisation comme protection contre les défauts d'isolement
- des dispositifs de protection contre les courts-circuits, ce qui nécessite des courants de défauts de forte intensité,
- ou des dispositifs additionnels capables de détecter et d'éliminer des courants de défauts de faible intensité.

En pratique ces choix sont regroupés et normalisés comme indiqué ci-après.

Chacun de ces choix détermine un schéma de liaison à la terre avec trois avantages et trois inconvénients :

- L'interconnexion des masses des équipements et du conducteur de protection (PE) est efficace pour assurer l'équipotentialité mais augmente l'intensité des courants de défaut.

E4

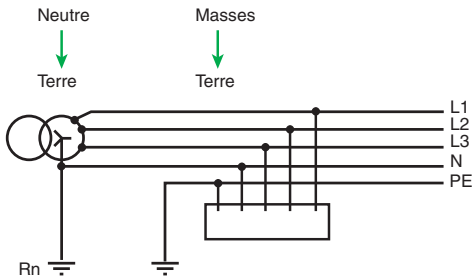


Fig. E3 : Schéma TT

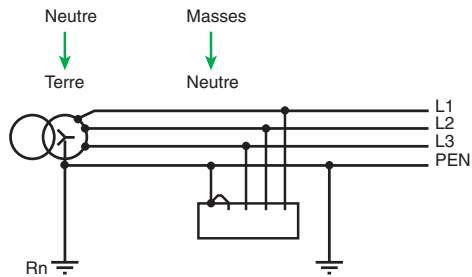


Fig. E4 : Schéma TN-C

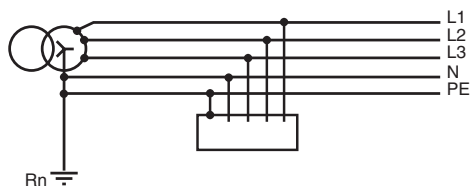


Fig. E5 : Schéma TN-S

■ Un conducteur de protection (PE) séparé est une solution plus coûteuse même s'il a une faible section en revanche il est beaucoup plus improbable qu'il soit pollué par des chutes de tension, des courants harmoniques, etc. que dans le cas d'un conducteur neutre et d'un conducteur de protection confondu (PEN). Un conducteur de protection (PE) séparé évite aussi de faire circuler des courants de fuite dans les masses.

■ La mise en œuvre de dispositifs différentiels à courant résiduel (DDR) ou de contrôleur permanent d'isolement (CPI) qui sont des dispositifs très sensibles, permet de détecter et d'éliminer les défauts d'isollements avant que des dommages importants ne surviennent (perforation des bobinages moteur, incendie, etc.). La protection offerte de plus est indépendante des modifications apportées à une installation électrique existante.

Schéma TT (neutre à la terre) (cf. Fig. E3)

Un point de l'alimentation est relié directement à la terre. Les masses de l'installation sont reliées à une prise de terre électriquement distincte de la prise de terre du neutre.

Elles peuvent être confondues de fait sans incidence sur les conditions de protection.

Schéma TN (mise au neutre)

Un point de l'installation, en général le neutre, est relié directement à la terre. Les masses de l'installation sont reliées à ce point par le conducteur de protection. On distingue les schémas suivants :

Schéma TN-C (cf. Fig. E4)

Le conducteur de protection et le conducteur neutre sont confondus en un seul conducteur appelé PEN (Protective Earth and Neutral). Ce schéma est interdit pour des sections inférieures à 10 mm² et pour des canalisations mobiles.

Le schéma TN-C nécessite la création d'un système équipotentiel pour éviter la montée en potentiel des masses et des éléments conducteurs. Il est par conséquent nécessaire de relier le conducteur PEN à de nombreuses prises de terre réparties dans l'installation.

Attention : en schéma TN-C, la fonction "conducteur de protection" l'emporte sur la fonction "neutre". En particulier, un conducteur PEN doit toujours être raccordé à la borne "terre" d'un récepteur et un pont doit être réalisé entre cette borne et la borne du neutre.

Schéma TN-S (cf. Fig. E5)

Le conducteur de protection et le conducteur neutre sont distincts. Les masses sont reliées au conducteur de protection (PE).

Le schéma TN-S (5 fils) est obligatoire pour les circuits de section inférieure à 10 mm² en cuivre et 16 mm² en aluminium pour les canalisations mobiles.

Schéma TN-C-S (cf. Fig. E6 ci-dessous et Fig. E7 page suivante)

Les schémas TN-C et TN-S peuvent être utilisés dans une même installation. En schéma TN-C/S, on ne doit jamais utiliser le schéma TN-C (4 fils) en aval du schéma TN-S (5 fils).

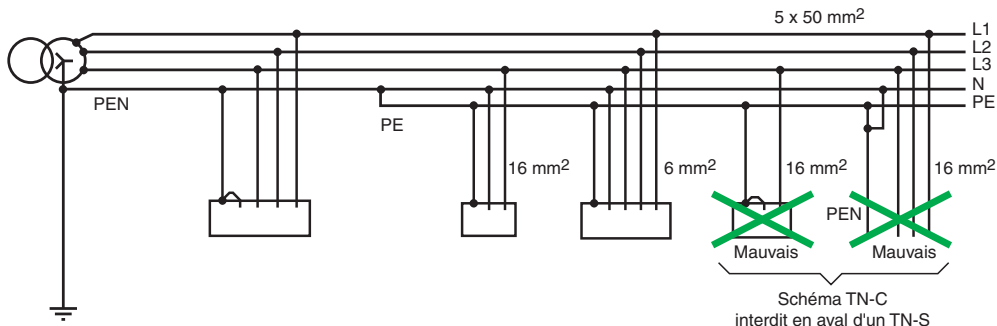


Fig. E6 : Schéma TN-C-S

En schéma TT :

- technique de protection des personnes : mise à la terre des masses, associées à l'emploi de dispositifs différentiels à courant résiduel,
- technique d'exploitation : coupure au premier défaut d'isolement.

1.3 Caractéristiques des schémas TT, TN et IT

Schéma TT (cf. Fig. E12)

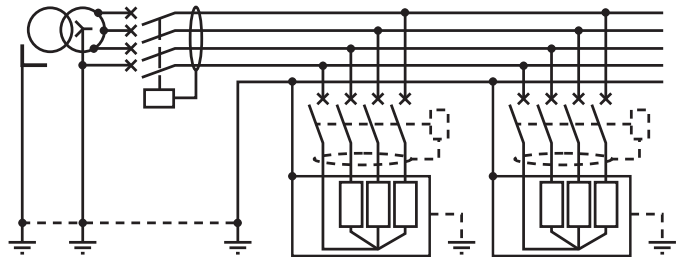


Fig. E12 : Schéma TT

Nota : si les masses d'utilisation sont reliées en plusieurs points à la terre, il faut installer un DDR sur chacun des groupes de départs reliés à la même prise de terre.

Principales caractéristiques

- Solution la plus simple à l'étude et à l'installation, elle est utilisable dans les installations alimentées directement par le réseau de distribution publique à basse tension.
- Ne nécessite pas une permanence de surveillance en exploitation (seul un contrôle périodique des dispositifs différentiels peut être nécessaire).
- La protection est assurée par des dispositifs spécifiques, les DDR, qui permettent en plus la prévention des risques d'incendie lorsque leur sensibilité est ≤ 500 mA.
- Chaque défaut d'isolement entraîne une coupure. Cette coupure est limitée au circuit en défaut par l'emploi de plusieurs DDR en série (DDR sélectifs) ou en parallèle (sélection des circuits).
- Les récepteurs ou parties d'installation, qui sont la cause en marche normale de courants de fuite importants, doivent faire l'objet de mesures spéciales pour éviter les déclenchements indésirables (alimenter les récepteurs par transformateurs de séparation ou utiliser des différentiels adaptés (voir sous-chapitre 5.1 du chapitre F).

En schéma TN :

- technique de protection des personnes :
 - interconnexion et mise à la terre des masses et du neutre impératives,
 - coupure au premier défaut par protection contre les surintensités (disjoncteurs ou fusibles) ;
- technique d'exploitation : coupure au premier défaut d'isolement.

Schéma TN (cf. Fig. E13 et Fig. E14)

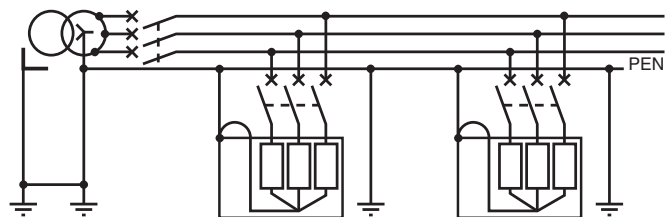


Fig. E13 : Schéma TN-C

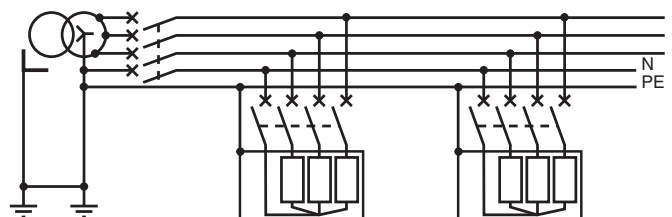


Fig. E14 : Schéma TN-S

1 Les schémas des liaisons à la terre

Principales caractéristiques

■ Le schéma TN, d'une manière générale :

- est utilisable uniquement dans les installations alimentées par un transformateur MT/BT ou BT/BT privé,
- nécessite des prises de terre uniformément réparties dans toute l'installation,
- nécessite que la vérification des déclenchements sur premier défaut d'isolement soit obtenue à l'étude par le calcul et, obligatoirement à la mise en service, par des mesures,
- nécessite que toute modification ou extension soit conçue et réalisée par un installateur qualifié,
- peut entraîner, en cas de défaut d'isolement, une détérioration plus importante des bobinages des machines tournantes,
- peut présenter, dans les locaux à risque d'incendie, un danger plus élevé du fait des courants de défaut plus importants.

■ Le schéma TN-C, de plus :

- peut faire apparaître une économie à l'installation (suppression d'un pôle d'appareillage et d'un conducteur),
- implique l'utilisation de canalisations fixes et rigides (NF C 15-100, partie 5-52),
- est interdit :
 - dans les locaux à risques d'incendie
 - pour les équipements de traitement de l'information (par présence de courant harmonique dans le neutre).

■ Le schéma TN-S, de plus :

- s'emploie même en présence de conducteurs souples ou de conduits de faible section,
- permet par la séparation du neutre et du conducteur de protection de disposer d'un PE non pollué (locaux informatiques, locaux à risques).

Schéma IT (cf. Fig. E15)

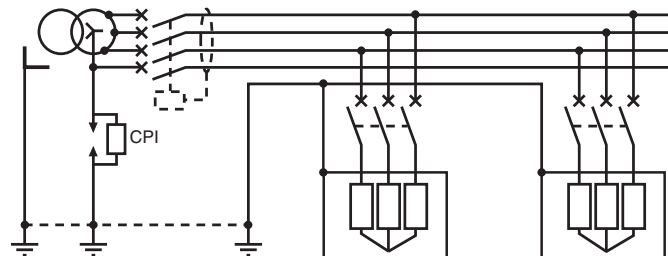


Fig. E15 : Schéma IT

Principales caractéristiques

- Solution assurant la meilleure continuité de service en exploitation.
- La signalisation du premier défaut d'isolement, suivie obligatoirement de sa recherche et de son élimination, permet une prévention systématique de toute interruption d'alimentation.
- Utilisation uniquement dans les installations alimentées par un transformateur MT/BT ou BT/BT privé.
- Nécessite un personnel d'entretien pour la surveillance et l'exploitation.
- Nécessite un bon niveau d'isolement du réseau (implique la fragmentation du réseau si celui-ci est très étendu, et l'alimentation des récepteurs à courant de fuite important par transformateurs de séparation).
- La vérification des déclenchements pour deux défauts simultanés doit être assurée à l'étude par les calculs, et obligatoirement à la mise en service par des mesures à l'intérieur de chaque groupe de masses interconnectées.
- La protection du conducteur neutre doit être assurée comme indiqué au chapitre G paragraphe 7.2.

En schéma IT :

■ technique de protection :

- interconnexion et mise à la terre des masses,
- signalisation du premier défaut par contrôleur permanent d'isolement,
- coupure au deuxième défaut par protection contre les surintensités (disjoncteurs ou fusibles) ;

■ technique d'exploitation :

- surveillance du premier défaut d'isolement,
- recherche et élimination obligatoires du défaut,
- coupure en présence de deux défauts d'isolement simultanés.

E7

Ce sont les impératifs réglementaires, de continuité de service, de conditions d'exploitation et de nature du réseau et des récepteurs qui déterminent le ou les types de schéma les plus judicieux.

1.4 Critères de choix des schémas TT, TN et IT

Sur le plan de la protection des personnes, les trois SLT sont équivalents si l'on respecte toutes les règles d'installation et d'exploitation. Il ne peut donc être question de faire un choix sur des critères de sécurité.

C'est le croisement des impératifs réglementaires, de continuité de service, de conditions d'exploitation et de nature du réseau et des récepteurs qui détermine le ou les types de schéma les plus judicieux (cf. Fig. E16). Le choix résulte des éléments suivants :

- d'abord des textes réglementaires qui imposent dans certains cas un SLT (cf. Fig. E17).
 - puis du choix de l'utilisateur lorsqu'il est alimenté par un transformateur HTA/BT dont il est propriétaire (abonné HT), ou qu'il possède sa propre source d'énergie (ou un transformateur à enroulements séparés).
- Lorsque l'utilisateur est libre de son choix, la définition du SLT ne pourra résulter que d'une concertation entre lui-même et le concepteur du réseau (bureau d'études, installateur). Elle portera :
- en premier lieu, sur les impératifs d'exploitation (continuité de service impérative ou non) et sur les conditions d'exploitation (entretien assuré par un personnel électricien ou non, interne ou d'une entreprise extérieure...),
 - en second lieu, sur les caractéristiques particulières du réseau et des récepteurs. (cf. Fig. E18).

	TT	TN-S	TN-C	IT1	IT2	Commentaires
Caractéristiques Électriques						
Courant de défaut	-	--	--	+	--	Seul le schéma IT offre des courants de 1er défaut négligeables
Tension de défaut	-	-	-	+	-	En schéma IT, la tension de défaut est très faible au 1er défaut mais très élevée au 2ème défaut
Tension de contact	+/-	-	-	+	-	En schéma TT, la tension de contact est très faible si le schéma est totalement équipotentiel, élevée dans le cas contraire
Protection						
Protection des personnes contre les contacts indirects	+	+	+	+	+	Tous les SLT sont équivalents si les règles sont strictement respectées
Protections des personnes en cas d'alimentation par un groupe de secours	+	-	-	+	-	Les schémas où la protection est assurée par des DDR sont insensibles à un changement d'impédance interne de la source d'alimentation
Protection incendie (par DDR)	+	+	pas permis	+	+	Assurée dans tous les SLT où la protection par DDR peut être mise en œuvre
Surtensions						
Surtension permanente	+	+	+	-	+	Surtension permanente phase terre en schéma IT au 1er défaut
Surtension transitoire	+	-	-	+	-	Des courants de défaut de forte intensité peuvent créer une surtension transitoire importante
Surtension en cas de rupture d'isolement primaire/secondaire du transformateur	-	+	+	+	+	Dans le schéma TT il peut y avoir des élévations de tension différentes entre la prise de terre de la source et les prises de terre des utilisateurs. Dans les autres schémas les prises de terre sont interconnectées
Compatibilité Électromagnétique (CEM)						
Immunité au coup de foudre au sol	-	+	+	+	+	Dans le schéma TT il peut y avoir des élévations de tension différentes sur chaque prise de terre. Dans les autres schémas les prises de terre sont interconnectées
Immunité au coup de foudre sur ligne MT	-	-	-	-	-	Tous les SLT sont équivalents quand un coup de foudre tombe directement sur le réseau MT
Émission permanente d'un champ électromagnétique	+	+	-	+	+	La connexion du PEN à toutes les structures métalliques d'un bâtiment est favorable à la génération permanente de champs électromagnétiques
Non équipotentialement du PE	+	-	-	+	-	Le PE n'est plus équipotentiel en cas de courants de défaut de forte intensité
Continuité de service						
Coupeure au premier défaut	-	-	-	+	+	Seul le schéma IT évite le déclenchement au 1er défaut d'isolement
Creux de tension pendant le défaut d'isolement	+	-	-	+	-	Les schémas TN-C, TN-S et IT (2ème défaut) génèrent des courants de défauts de haute intensité
Installation						
Appareils spécifiques	-	+	+	-	-	Le schéma TT nécessite l'utilisation de DDR. Le schéma IT nécessite l'utilisation de CPI
Nombre de prises de terre	-	+	+	-/+	-/+	Le schéma TT nécessite deux prises de terre distinctes (au moins). Le schéma IT laisse le choix entre une ou plusieurs prises de terre
Nombre de câbles	-	-	+	-	-	Seul le schéma TN-C offre, dans certain cas, une réduction du nombre de câbles
Maintenance						
Coût de réparation	-	--	--	-	--	Le coût de la réparation dépend des dommages causés à l'installation par l'amplitude du courant de défaut
Dommages à l'installation	+	-	-	++	-	Pour les schémas permettant des courants de défaut de forte intensité, il est nécessaire d'effectuer une vérification minutieuse de l'installation après avoir éliminé le défaut

Fig E16 : Comparaison des schémas des liaisons à la terre (SLT)

1 Les schémas des liaisons à la terre





Textes officiels ou recommandation...	concernent
Schéma TT ■ arrêté interministériel du 13.2.70.	Bâtiment alimenté directement par un réseau de distribution publique BT (domestique, petit tertiaire, petit atelier) 
Schéma IT ■ règlement de sécurité contre les risques de panique et d'incendie dans les lieux recevant du public (IT médical cf. NF C 15-211) ■ arrêté ministériel du 10.11.76 relatif aux circuits et installations de sécurité (publié au JO du 1.12.76)	 Circuits de sécurité (éclairage) soumis au décret de protection des travailleurs 
Schéma IT ou TT ■ décret n° 76-48 du 9.1.76 ■ circulaire du 9.1.76 et règlement sur la protection du personnel dans les mines et les carrières, annexée au décret 76.48	Mines et carrières 

Fig E17 : Exemples fréquents rencontrés où le SLT est imposé (ou fortement recommandé) par des textes officiels

E9

Nature de réseau		Conseillé	Possible	Déconseillé
Réseau très étendu avec bonnes prises de terre des masses d'utilisation (10 Ω maxi)			TT, TN, IT ⁽¹⁾ ou mixage	
Réseau très étendu avec mauvaises prises de terre des masses d'utilisation (> 30 Ω)		TN	TN-S	IT ⁽¹⁾ TN-C
Réseau perturbé (zone orageuse) (ex. : réémetteur télé ou radio)		TN	TT	IT ⁽²⁾
Réseau avec courants de fuite importants (> 500 mA)		TN ⁽⁴⁾	IT ⁽⁴⁾ TT ^{(3) (4)}	
Réseau avec lignes aériennes extérieures		TT ⁽⁵⁾	TN ^{(5) (6)}	IT ⁽⁶⁾
Groupe électrogène de sécurité		IT	TT	TN ⁽⁷⁾
Nature des récepteurs				
Récepteurs sensibles aux grands courants de défaut (moteurs...)		IT	TT	TN ⁽⁸⁾
Récepteurs à faible isolement (fours électriques, soudeuses, outils chauffants, thermoplongeurs, équipements de grandes cuisines)		TN ⁽⁹⁾	TT ⁽⁹⁾	IT
Nombreux récepteurs monophasés phase-neutre (mobiles, semi-fixes, portatifs)		TT ⁽¹⁰⁾ TN-S		IT ⁽¹⁰⁾ TN-C ⁽¹⁰⁾
Récepteurs à risques (palans, convoyeurs...)		TN ⁽¹¹⁾	TT ⁽¹¹⁾	IT ⁽¹¹⁾
Nombreux auxiliaires (machines-outils)		TN-S	TN-C IT ^(12 bis)	TT ⁽¹²⁾
Divers				
Alimentation par transformateur de puissance ⁽¹³⁾ avec couplage étoile-étoile		TT	IT sans neutre	IT ⁽¹³⁾ avec neutre
Locaux avec risques d'incendie		IT ⁽¹⁵⁾	TN-S ⁽¹⁵⁾ TT ⁽¹⁵⁾	TN-C ⁽¹⁴⁾
Augmentation de la puissance d'un abonné, alimenté par EDF en basse tension, nécessitant un poste de transformation privé		TT ⁽¹⁶⁾		
Etablissement avec modifications fréquentes		TT ⁽¹⁷⁾		TN ⁽¹⁸⁾ IT ⁽¹⁸⁾
Installation où la continuité des circuits de terre est incertaine (chantiers, installations anciennes)		TT ⁽¹⁹⁾	TN-S	TN-C IT ⁽¹⁹⁾
Equipements électroniques (ordinateurs, calculateurs, automates programmables)		TN-S	TT	TN-C
Réseau de contrôle et commande des machines, capteurs et actionneurs des automates programmables		IT ⁽²⁰⁾	TN-S, TT	

- (1) Lorsqu'il n'est pas imposé, le SLT est choisi en fonction des caractéristiques d'exploitation qui en sont attendues (continuité de service impérative pour raison de sécurité ou souhaitée par recherche de productivité...).
- Quel que soit le SLT, la probabilité de défaillance d'isolement augmente avec la longueur du réseau. Il peut être judicieux de le fragmenter, ce qui facilite la localisation du défaut et permet en outre d'avoir pour chaque application le régime conseillé ci-dessous.
- (2) Les risques d'amorçage du limiteur de surtension transforment le neutre isolé en neutre à la terre. Ces risques sont à craindre principalement dans les régions fortement orageuses ou pour des installations alimentées en aérien. Si le régime IT est retenu pour assurer la continuité de service, le concepteur devra veiller à calculer très précisément les conditions de déclenchement sur 2e défaut.
- (3) Risques de fonctionnement intempestif des DDR.
- (4) La solution idéale est, quel que soit le SLT, d'isoler la partie perturbatrice si elle est facilement localisable.
- (5) Risques de défaut phase-terre rendant aléatoire l'équipotentialité.
- (6) Isolement incertain à cause de l'humidité et des poussières conductrices.
- (7) La SLT TN est déconseillée en raison des risques de détérioration de l'alternateur en cas de défaut interne. D'autre part, lorsque ces groupes électrogènes alimentent des installations de sécurité, ils ne doivent pas déclencher au premier défaut.
- (8) Le courant de défaut phase-masse peut atteindre plusieurs In, risquant d'endommager les bobinages des moteurs et de les faire vieillir ou de détruire les circuits magnétiques.
- (9) Pour concilier continuité de service et sécurité, il est nécessaire et recommandé, quel que soit le SLT, de séparer ces récepteurs du reste de l'installation (transformateurs avec mise au neutre locale).
- (10) Lorsque la qualité des récepteurs est ignorée à la conception de l'installation, l'isolement risque de diminuer rapidement. La protection de type TT avec dispositifs différentiels constitue la meilleure prévention.
- (11) La mobilité de ces récepteurs génère des défauts fréquents (contact glissant de masse) qu'il convient de circonscrire. Quel que soit le SLT, il est recommandé d'alimenter ces circuits par transformateurs avec mise au neutre locale.
- (12) Nécessite l'emploi de transformateurs avec TN local pour éviter les risques de fonctionnement ou d'arrêt intempestif au premier défaut (TT) ou défaut double (IT).
- (12 bis) Avec double interruption du circuit de commande.
- (13) Limitation trop importante du courant phase-neutre en raison de la valeur élevée de l'impédance homopolaire : au moins 4 à 5 fois l'impédance directe. Ce schéma est à remplacer par un schéma "étoile-triangle".
- (14) Les forts courants de défaut rendent dangereux le TN : le TNC est interdit.
- (15) Quel que soit le SLT, utilisation de dispositif différentiel résiduel de sensibilité ≤ 500 mA.
- (16) Une installation alimentée en basse tension a obligatoirement le schéma TT. Garder ce SLT équivaut à faire le minimum de modifications sur la distribution existante (pas de câble à tirer, pas de protection à changer).
- (17) Possible sans personnel d'entretien très compétent.
- (18) De telles installations demandent un grand sérieux dans le maintien de la sécurité. L'absence de mesures préventives en SLT TN exige un personnel très compétent pour assurer cette sécurité dans le temps.
- (19) Les risques de rupture des conducteurs (d'alimentation, de protection) rendent aléatoire l'équipotentialité des masses.
- La NF C 15-100 impose le TT ou le TNS avec des DDR 30 mA. Le IT est utilisable dans des cas très particuliers.
- 20) Cette solution permet d'éviter l'apparition d'ordres intempestifs lors d'une fuite à la terre intempestive.

Fig. E18 : Influence des réseaux et des récepteurs sur le choix des schémas des liaisons à la terre

1 Les schémas des liaisons à la terre

1.5 Méthode de choix, mise en œuvre

Après la consultation des textes réglementaires, les Figures E16 et E17 peuvent être une aide pour le concepteur dans la décision de fractionner les sources et/ou de séparer galvaniquement une partie du réseau (îlotage) pour son projet d'installation électrique.

Fractionnement des sources

Il s'agit de répartir l'alimentation sur plusieurs transformateurs au lieu d'un seul de forte puissance. Ainsi tel ou tel récepteur très perturbateur (gros moteur, fours...) du réseau sera alimenté par son propre transformateur.

La qualité et la continuité de l'alimentation de l'ensemble de l'installation en sont accrues.

Le coût de l'appareillage est diminué (Icc plus faible). Le bilan technico-économique est à établir au cas par cas.

Îlotage

Il consiste à séparer galvaniquement une partie du réseau par un transformateur BT/BT pour adapter au mieux le choix du schéma des liaisons à la terre. Ainsi le service rendu par l'installation peut-il être optimisé (cf. Fig. E19 et Fig. E20).

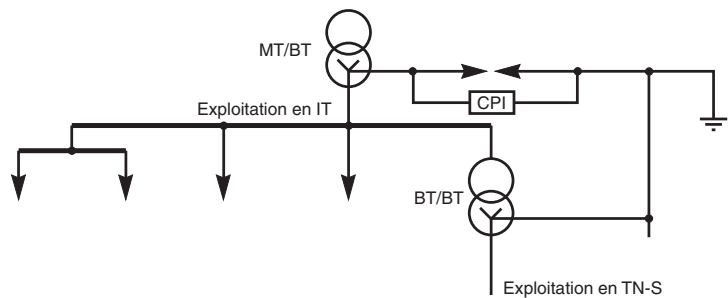


Fig. E19 : Îlot TN-S dans un SLT IT

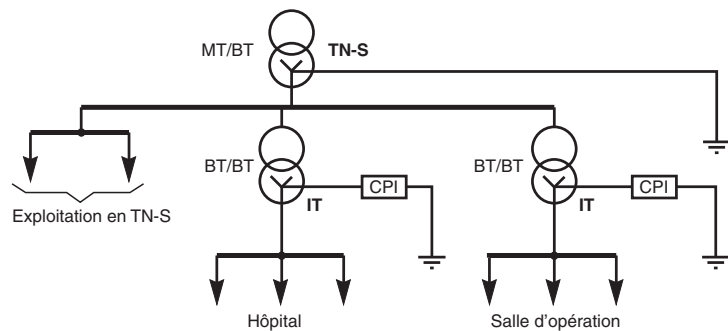


Fig. E20 : Îlots IT dans un SLT TN-S

Conclusion

C'est l'optimisation de la performance d'ensemble de l'installation qui détermine le choix du ou des schémas de liaison à la terre.

Elle comporte :

- l'investissement initial mais aussi,
- les frais d'exploitation ultérieurs qu'une sûreté, une continuité de service ou une qualité du réseau insuffisante pourront alourdir de manière imprévisible.

Dans l'idéal, une architecture de distribution devrait comporter des sources normales de puissance, des sources de remplacement, et des schémas appropriés des liaisons à la terre (cf. § 1.4).

E11

La meilleure des solutions de réalisation d'une prise de terre est la boucle à fond de fouille.

1.6 Réalisation et mesure des prises de terre

La qualité d'une prise de terre (résistance aussi faible que possible) est essentiellement fonction de deux facteurs :

- mode de réalisation,
- nature du sol.

Modes de réalisation

Trois types de réalisation sont couramment retenus :

Boucle à fond de fouille (cf. Fig. E21)

Cette solution est notamment conseillée pour toute construction nouvelle.

Elle consiste à placer un conducteur nu sous le béton de propreté, ou enfoui à 1 m au moins sous la terre en dessous de la base du béton des fondations des murs extérieurs.

Il est important que ce conducteur nu soit en contact intime avec le sol (et non placé dans du gravier, du mâchefer ou des matériaux analogues formant souvent l'assise du béton). Ni la boucle de terre, ni les conducteurs de terre verticaux la reliant à la borne de terre, doivent être en contact avec l'armature du béton armé : cette armature doit être raccordée directement à la borne principale de terre. En règle générale, les conducteurs de terre verticaux reliant une prise de terre à un niveau hors sol doivent être isolés pour la tension nominale des réseaux BT (600V – 1000V).

Pour les bâtiments existants, le conducteur à fond de fouille doit être enterré tout autour des murs extérieurs des locaux à une profondeur d'au moins 1 mètre.

Le conducteur peut être :

- en cuivre : câble ($\geq 25 \text{ mm}^2$) ou feuillard ($\geq 25 \text{ mm}^2$ et épaisseur $\geq 2 \text{ mm}$),
- en aluminium gainé de plomb : câble ($\geq 35 \text{ mm}^2$),
- en acier galvanisé : câble ($\geq 95 \text{ mm}^2$) ou feuillard ($\geq 100 \text{ mm}^2$ et épaisseur $\geq 3 \text{ mm}$).

La résistance obtenue est (en ohms) :

$$R = \frac{2 \rho}{L} \text{ avec}$$

L = longueur de la boucle (m)

ρ = résistivité du sol en ohm-mètres (cf. "Influence de la nature du sol" page suivante)

Piquets (cf. Fig. E22)

La boucle à fond de fouille peut être remplacée par plusieurs piquets, c'est notamment le cas pour les bâtiments existants, voire pour améliorer une prise de terre existante.

Le piquet peut être :

- en cuivre ou (plus couramment) en acier cuivré. Ces piquets sont de 1 à 2 mètres de longueur et munis d'une prise et d'une terminaison filetée afin d'atteindre des profondeurs importantes si nécessaires (par exemple, le niveau de nappes d'eau dans des lieux à sols très résistifs),
- constitués de tubes en acier galvanisé (voir note (1) page suivante) de diamètre $\geq 25 \text{ mm}$ ou de barres de diamètre $\geq 15 \text{ mm}$ et de longueur $\geq 2 \text{ mètres}$ dans les 2 cas.

La résistance avec n piquets est : $R = \frac{1 \rho}{n L}$

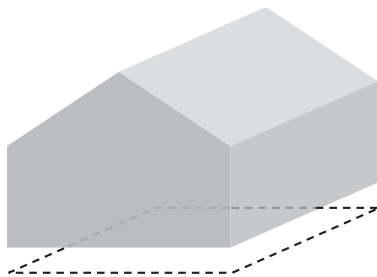


Fig. E21 : Conducteur posé à fond de fouille

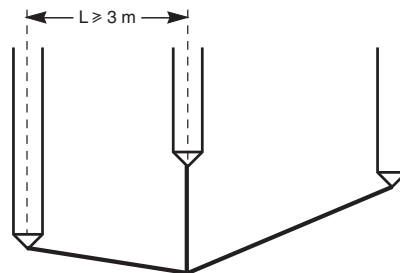


Fig. E22 : Piquets

1 Les schémas des liaisons à la terre

Il est souvent nécessaire d'utiliser plusieurs piquets. Ceux-ci doivent toujours être distants 2 à 2 de plus de 2 à 3 fois la profondeur d'un piquet. La résistance résultante est alors égale à la résistance unitaire divisée par le nombre de piquets.

La résistance obtenue est :

$$R = \frac{1 \rho}{n L} \text{ si la distance séparant 2 piquets est } > 4L$$

avec

L = longueur du piquet (m)

ρ = résistivité du sol en ohm-mètres (cf. "Influence de la nature du sol" ci-dessous)

n = nombre de piquets

Plaques verticales (cf. Fig. E23)

Ces plaques sont soit carrées, soit rectangulaires ($l \geq 0,5$ m). Elles doivent être enterrées de telle façon que leur centre soit au moins à 1 m de la surface.

Les plaques peuvent être :

- en cuivre de 2 mm d'épaisseur,
- en acier galvanisé de 3 mm d'épaisseur.

La résistance obtenue est :

$$R = \frac{0,8 \rho}{L} \text{ avec}$$

L = périmètre de la plaque (m)

ρ = résistivité du sol en ohm-mètres (cf. "Influence de la nature du sol" ci-dessous)

La mesure d'une prise de terre dans un terrain analogue est utile pour déterminer la résistivité à utiliser pour définir une prise de terre.

Influence de la nature du sol

Nature du terrain	Résistivité en Ωm
terrains marécageux	1 à 30
limon	20 à 100
humus	10 à 150
tourbe humide	5 à 100
argile plastique	50
marnes et argiles compactes	100 à 200
marnes du jurassique	30 à 40
sables argileux	50 à 500
sables siliceux	200 à 300
sol pierreux nu	1 500 à 3 000
sol pierreux recouvert de gazon	300 à 500
calcaires tendres	100 à 300
calcaires compacts	1 000 à 5 000
calcaires fissurés	500 à 1 000
schistes	50 à 300
micashistes	800
granit et grès	1 500 à 10 000
granit et grès très altérés	100 à 600

Fig. E24 : Résistivité (Ωm) de différents terrains (d'après NFC 15-100)

Nature du terrain	Résistivité en Ωm
terrains arables gras, remblais compacts humides	50
terrains arables maigres, graviers, remblais grossiers	500
sols pierreux, nus, sables secs, roches perméables	3 000

Fig. E25 : Valeurs moyennes de la résistivité (Ωm) pour faire un calcul approximatif des prises de terre

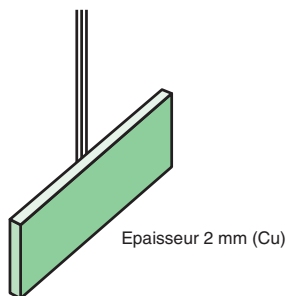


Fig. E23 : Plaques verticales

(1) Quand les prises de terre sont réalisées en matériau conducteur galvanisé, des anodes sacrificielles de protection cathodique peuvent être nécessaires pour éviter la corrosion rapide de la prise de terre si la nature du sol est agressive. Des anodes en magnésium spécialement préparées (dans un sac poreux rempli avec une poudre adaptée) sont prévues pour être connectées directement à la prise de terre. Pour de telles installations, un spécialiste doit être consulté.

Constance et mesure de la résistance de prise de terre

La résistance des prises de terre varie dans le temps

Ceci est dû à plusieurs facteurs :

■ L'humidité du sol.

L'influence des conditions saisonnières se fait sentir jusqu'à une profondeur de 1 à 2 m.

A une profondeur de 1 m, la variation de ρ et donc de R peut être de 1 à 3 entre un hiver humide et un été sec.

■ Le gel.

Il peut élever la résistivité de la terre gelée de plusieurs milliers d'ohms, d'où l'intérêt des prises de terre profondes dans les pays froids

■ Le vieillissement.

Le matériau constituant la prise de terre peut être détérioré par divers effets physiques :

□ chimique si la terre est alcaline,

□ facteur galvanique du fait de courant continu vagabond (chemin de fer) etc. ou dû à différents métaux formant les couches superficielles de la prise de terre.

Des couches de terrain de différentes natures agissant sur le même conducteur peuvent aussi créer des zones cathodiques et anodiques avec comme conséquence une disparition de métal en surface du conducteur dans la zone anodique.

Malheureusement les conditions les plus favorables pour une résistance de terre de faible valeur (soit un sol à faible résistivité) sont aussi celles pour lesquelles les courants galvaniques peuvent circuler le plus facilement.

■ L'oxydation.

Les raccordements par soudure ou brasage sont les points les plus sensibles à l'oxydation.

Le nettoyage de ces raccordements et leur enrobage dans de la graisse entourée d'un tissu est une mesure préventive couramment pratiquée.

Mesure de la prise de terre

Il doit toujours exister une "barrette" amovible de mise à la terre afin d'isoler la prise de terre du reste de l'installation et de permettre de mesurer périodiquement la résistance de terre. Pour réaliser cette mesure, il est nécessaire d'utiliser 2 électrodes auxiliaires.

■ Utilisation d'un ampèremètre (cf. Fig. E26)

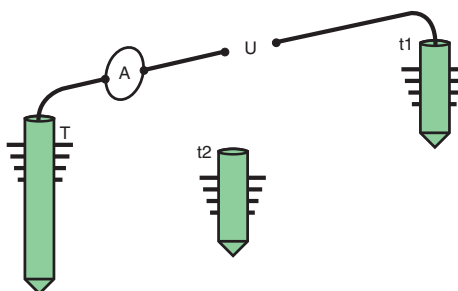


Fig. E26 : Mesure de la prise de terre avec un ampèremètre

$$A = R_T + R_{t1} = \frac{U_{Tt1}}{i_1}$$

$$B = R_{t1} + R_{t2} = \frac{U_{t1t2}}{i_2}$$

$$C = R_{t2} + R_T = \frac{U_{t2T}}{i_3}$$

Si la source de tension est toujours la même, on a :

$$R_T = \frac{U}{2} \left(\frac{1}{i_1} + \frac{1}{i_3} - \frac{1}{i_2} \right)$$

Afin d'éviter des erreurs de mesure dues aux courants vagabonds de terre (courants continus galvaniques ou courants de fuite à la terre des réseaux d'alimentation en énergie, de communication, etc.), les courants de mesures doivent être injectés en courant alternatif à une fréquence différente de celle des réseaux d'alimentation ou de leurs harmoniques.

1 Les schémas des liaisons à la terre

Les générateurs portatifs du système de mesure fournissent généralement une tension alternative de fréquence comprise entre 85 Hz et 135 Hz.

Les mesures sont généralement faites

- suivant différentes distances entre les électrodes auxiliaires et la prise de terre. Les distances entre les électrodes ne sont pas critiques.
- dans différentes directions autour de la prise de terre à tester pour apprécier l'homogénéité du terrain.

Les résultats des mesures sont ensuite consignés et moyennés.

■ Utilisation d'un ohmmètre de terre

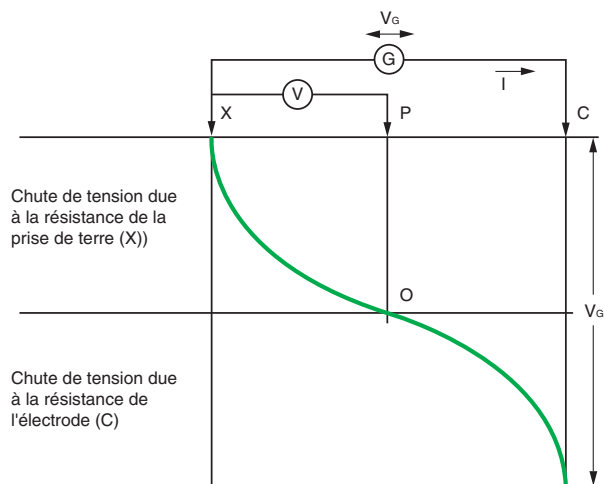
Ces appareils indiquent directement la valeur de la prise de terre. Ils nécessitent la mise en place de deux «électrodes» auxiliaires. L'espacement de celles-ci doit être tel que la zone d'influence de la prise de terre à tester ne doit pas chevaucher celle de l'électrode de test (C).

- L'électrode de test (C) la plus éloignée de la prise de terre (X) fait circuler un courant à la terre qui revient par la prise de terre.
- La seconde électrode de test (P) mesure la tension entre (X) et (P). Cette tension induite par le courant de test caractérise la résistance de contact de la prise de terre avec la terre.

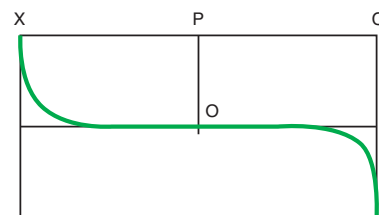
Il est clair que la distance entre (X) et (C) doit être choisie avec précaution pour éviter le couplage des terres par chevauchement des zones d'influence. Dès que la distance entre (X) et (C) est suffisamment importante, les zones d'influence ne se chevauchent plus et la courbe de potentiel (tension mesurée par (P) devient proche d'une horizontale autour du point O (milieu de XC).

D'un point de vue pratique, la distance (X) entre (C) est augmentée jusqu'à ce que les tensions mesurées par l'électrode (P) en trois points - soit au point O et en deux autres points situés à approximativement 5 mètres de part et d'autre de O - aient des valeurs similaires.

La distance entre (X) et (P) est généralement de l'ordre de 0,68 fois la distance entre (X) et (C).



a) le principe de la mesure est basé sur des natures de terrain présumées homogène. Si les zones d'influence des électrodes (C) et (X) se chevauchent, le positionnement de l'électrode (P) est difficile à déterminer pour obtenir des résultats satisfaisants.



b) illustration de l'effet sur le gradient de potentiel quand (X) et (C) sont très éloignées. Le positionnement de l'électrode (P) n'est plus critique et peut être facilement déterminé.

Fig. E27 : mesure de la résistance de terre de la prise de terre (X) un ohmmètre de terre