

Régime TT
et MESURES



Lycée Emile Combes

AVANT PROPOS

Ce document a été créé à l'attention des enseignants de la filière génie électrotechnique. Il ne constitue en aucun cas un cours destiné aux élèves.

Ce dossier résume les spécificités technologiques du régime de neutre TT et les mesures qui lui sont associées. Il a pour objectif de servir de base à l'élaboration de séquences pédagogiques (cours, TD, TP) pouvant être développées avec des élèves de BEP, de bac professionnel ou du baccalauréat technologique. La bibliographie annexée permet d'approfondir les chapitres développés par la suite.

SOMMAIRE

	PAGE
<u>1 RAPPEL SUR LES RISQUES ELECTRIQUES</u>	P 1
<u>1.1 Effets du courant électrique</u>	P 1
1.1.1 Effets du courant alternatif	P 1
1.1.2 Effets du courant continu	P 2
1.1.3 Effets pour des fréquences supérieures à 50 Hz	P 2
<u>1.2 Tension de contact</u>	P 2
<u>1.3 Chocs électriques</u>	P 3
<u>2 PROTECTION CONTRE LES CHOCS DIRECTS</u>	P 3
<u>3 PROTECTION CONTRE LES CONTACTS INDIRECTS</u>	P 4
<u>4 LES SCHEMAS DE LIAISON A LA TERRE</u>	P 4
<u>4.1 Historique des schémas de liaison à la terre</u>	P 4
<u>4.2 Classification</u>	P 5
<u>4.3 Résistance maximale des prises de terre</u>	P 6
<u>5 LE REGIME DE NEUTRE TT EN BTA</u>	P 8
<u>5.1 Principe</u>	P 8
<u>5.2 Liaison équipotentielle</u>	P 9
<u>5.3 Dispositif différentiel</u>	P 9
5.3.1 Calibre ou sensibilité	P 9
5.3.2 Classe des différentiels	P 10
5.3.3 Sélectivité différentielle	P 10
<u>5.4 Prise de terre des masses</u>	P 12
5.4.1 Constitution de la prise de terre	P 12
5.4.2 Réalisation de la prise de terre	P 12
5.4.3 Calcul de la résistance de prise de terre	P 14

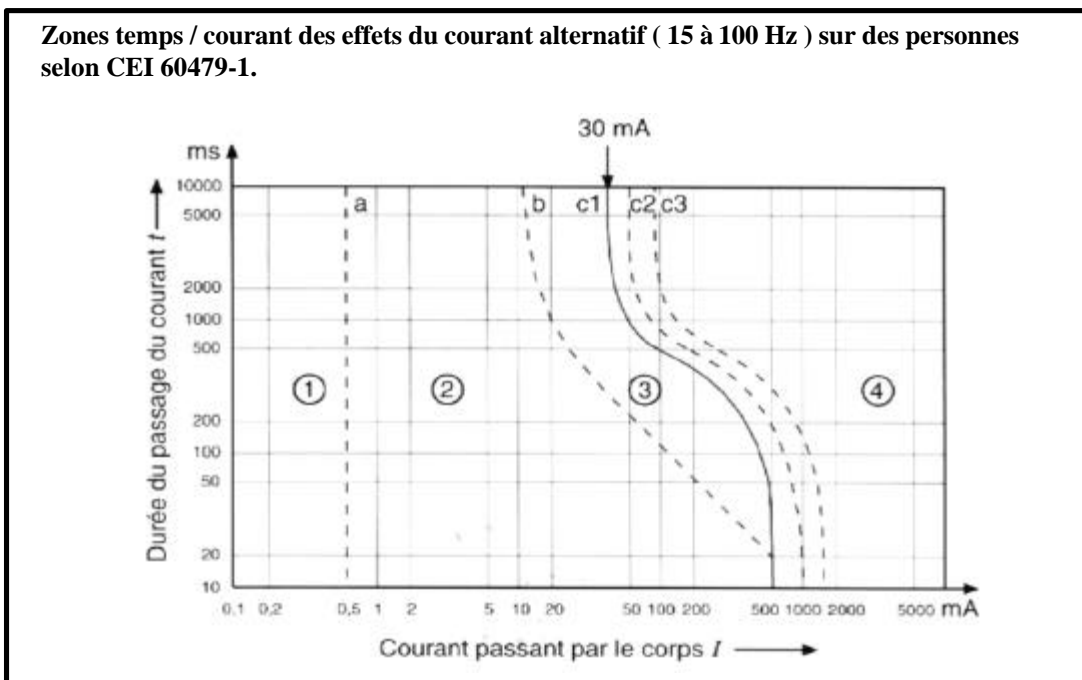
6 MESURES ASSOCIES AU REGIME DE NEUTRE TT :	P 14
6.1 Résistivité des terrains	P 14
6.1.1 Méthode de Wenner	P 15
6.2 Résistance de la prise de terre	P 16
6.2.1 Mesure de Ra par la méthode des 62 %	P 17
6.2.1.1 Principe	P 17
6.2.1.2 Exemple	P 17
6.2.2 Mesure de Ra par la méthode de boucle	P 18
6.2.2.1 Principe	P 18
6.2.2.2 Exemple	P 18
6.2.3 Mesure de Ra par la méthode variante des 62 %	P 18
6.3 Résistance d'isolement	P 19
6.4 Performances du dispositif différentiel	P 20
6.4.1 Performance mesurée	P 20
6.4.2 Mesurage	P 20
6.4.2.1 Méthode classique	P 20
6.4.2.2 Mesureur adapté	P 20
6.5 Mesure de couplage	P 22

1 RAPPEL SUR LES RISQUES ELECTRIQUES

1.1 Effets du courant électrique

Toutes les installations alimentées par une source d'énergie électrique capable de générer une tension de contact U_c supérieure ou égale à la tension limite U_L^1 peuvent présenter un risque potentiel pour l'utilisateur. Le corps humain peut, en cas de contact accidentel avec une pièce sous tension, être assimilé à un récepteur qui va laisser passer un courant. Celui-ci engendre des conséquences proportionnelles à la valeur du courant circulant dans l'organisme et qui dépendent du temps de contact. Les différentes études sur la protection des personnes ont affiné le risque qui se traduit par les résultats ci-après :

1.1.1 Effets du courant alternatif :



Zone 1 : Habituellement aucune réaction.

Zone 2 : Habituellement aucun effet physiologique dangereux.

Zone 3 : Habituellement aucun dommage organique. Probabilité de contractions musculaires et de difficulté de respiration, de perturbations réversibles dans la formation et la propagation des impulsions du cœur.

Zone 4 : En plus des effets de la Zone 3, probabilité de fibrillation² ventriculaire augmentant jusqu'à environ 5 % (courbe C2), 50 % (courbe 3) et plus de 50 % (au delà de la courbe C3). Augmentant avec l'effet de l'intensité et le temps, des effets pathophysiologiques tels qu'arrêt du cœur, arrêt de la respiration, brûlures graves peuvent se produire. Le point 500 mA / 100 ms correspond à une probabilité de fibrillation de l'ordre de 0,14%.

Nb :

En ce qui concerne la fibrillation ventriculaire, cette figure se rapporte à un trajet " main gauche aux deux pieds "

La courbe C1 constitue la limite de sécurité.

Documentation : SCHNEIDER (Guides pratiques N°3 – Les schémas de liaison à la terre)

¹ U_L : Tension limite conventionnelle définie par la norme CEI 60 479-1 admissible pendant au moins 5s. Locaux secs ou humides $U_L = 50V$. Locaux mouillés = 25V

² Fibrillation ventriculaire : Contractions rapides et désordonnées des fibres cardiaques. Ce phénomène se poursuit après coupure du courant.

1.1.2 Effets du courant continu :

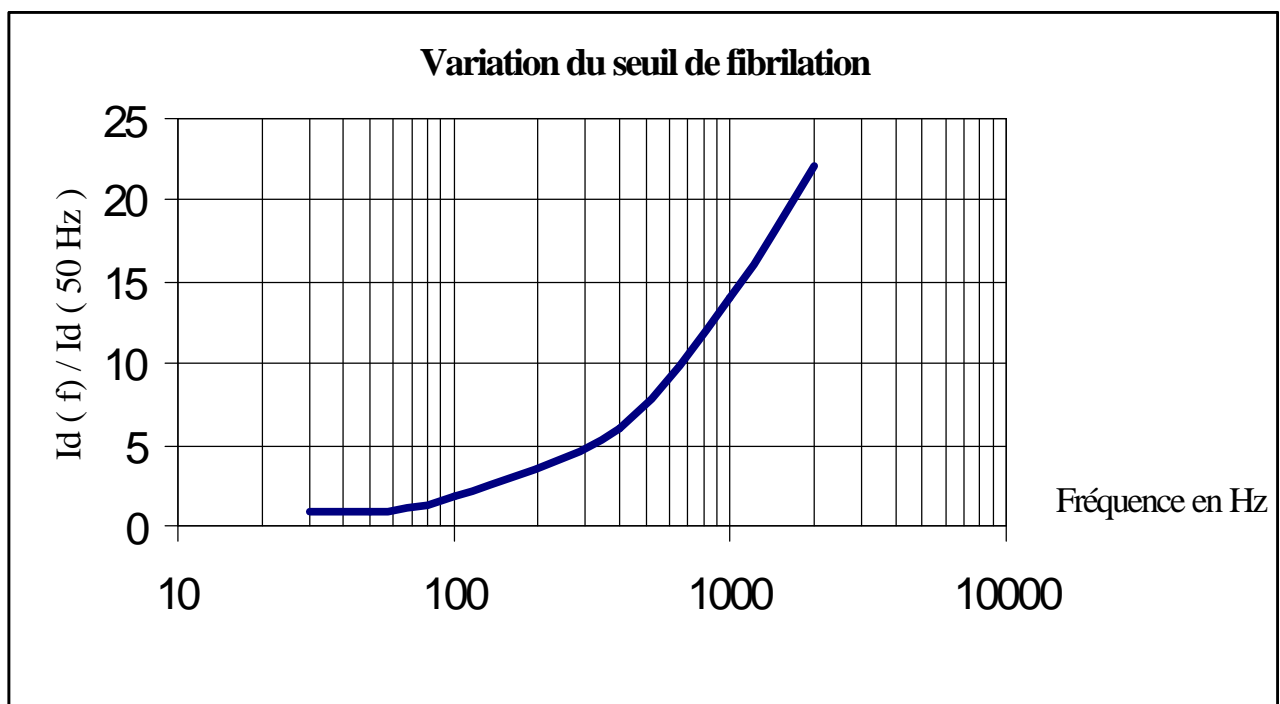
Lors d'un accident en courant continu, le moment le plus dangereux est la mise sous tension et la coupure du courant. Un facteur d'équivalence K entre le courant continu et le courant alternatif 50 Hz permet de définir les effets du courant continu.

Exemple : Rapport de fibrillation ventriculaire $K = I_{cc \text{ fibril}} / I_{ca \text{ fibril eff}} = 112,5 / 30 = 3,75$.

I_{cc} et $I_{ca \text{ eff}}$ représentent la même probabilité de provoquer une fibrillation.

1.1.3 Effet pour des fréquences supérieures à 50 Hz :

La norme CEI 60479-2 traite des effets du courant alternatif de fréquence supérieure à 50 Hz. Le seuil de fibrillation ventriculaire augmente en fonction de la fréquence du signal selon une courbe définie par l'évolution du facteur de fréquence :



Exemple pour 400 Hz, le facteur de fréquence étant de 6, l'effet physiologique d'un courant de 30 mA 50 Hz sera le même que celui d'un courant 180 mA 400 Hz.

1.2 Tension de contact

Les données précédentes sont traduites dans la normalisation française par les courbes 41 GA et 48 GE de la NFC 15 –100 qui définissent les limites "tension réseau / temps de coupure" à ne pas dépasser en fonction de la tension limite U_L . Ces courbes peuvent être établies sous forme de tableau :

**Durée maximale de maintien de la tension de contact
(41 GA et 48 GE de la NF C15-100).**

Tension de contact en V	Durée maximale de maintien en s	
	Courant alternatif 50 Hz	Courant continu
Locaux ou emplacements secs ou humides : UL <= 50 V		
< 50	5	5
50	5	5
75	0,60	5
90	0,45	5
120	0,34	5
150	0,27	1
220	0,17	0,40
280	0,12	0,30
350	0,08	0,20
500	0,04	0,10
Locaux ou emplacements mouillés : UL <= 25 V		
25	5	5
50	0,48	5
75	0,30	2
90	0,25	0,80
110	0,18	0,50
150	0,10	0,25
220	0,05	0,06
280	0,02	0,02

1.3 Chocs électriques.

La présence de ces risques conditionne la présence des dispositifs de protection. La mise en œuvre de ces derniers est conditionnée par la définition des contacts du corps humain avec la tension électrique. Deux types de contact sont identifiés par la norme NFC 15-1000 :

- ◆ **Contact direct** : Contact d'une personne avec des conducteurs actifs ou des pièces conductrices habituellement sous tension.
- ◆ **Contact indirect** : Contact d'une personne avec des masses mises accidentellement sous tension. Cette mise sous tension accidentelle résulte de la défaillance de l'isolation d'un appareil amenant un défaut d'isolement.

2 PROTECTION CONTRE LES CHOCS DIRECTS :

Le contact direct est le contact entre une personne et les parties actives (phases ou neutre) des matériels sous tension. La protection contre ce contact s'effectue de la façon suivante:

- ◆ **Par isolation des parties actives.**
Tous les conducteurs sous tension sont recouverts d'isolants.
- ◆ **Par des barrières, des enveloppes, des obstacles.**
L'appareillage est mis sous coffret.
- ◆ **Par mise hors portée, par éloignement.**
C'est le cas des lignes aériennes à haute tension et basse tension.

- ◆ **Utilisation de la très basse tension de sécurité T.B.T.S**
On a recours à des tensions dites "de sécurité"³ de 12 V, 25 V et 50 V en courant alternatif et de 25 V, 50 V, 120 V en continu.
- ◆ **Par protection complémentaire (disjoncteur différentiel résiduel DDR)**
On emploie un dispositif différentiel haute sensibilité (30 mA⁴).

3 PROTECTION CONTRE LES CONTACTS INDIRECTS.

Le contact indirect est le contact des personnes avec des masses mises accidentellement sous tension. La protection contre ce contact s'effectue de la façon suivante:

- ◆ **Sans coupure automatique :**

Ce type de protection est limité à certaines parties de l'installation. Il est réalisé par :

- L'emploi de matériel de classe 2.
- L'isolation supplémentaire lors de l'installation
- La séparation électrique (transformateurs d'isolement)
- Les liaisons équipotentielles locales, non reliées à la terre.

- ◆ **Par coupure automatique de l'alimentation :**

- La mesure de protection par coupure automatique de l'alimentation est destinée à empêcher qu'à la suite d'un défaut d'isolement entre une partie active et la masse d'un matériel, une personne touchant ce matériel puisse se trouver soumise à une tension de contact dangereuse pendant un temps tel qu'il pourra en résulter des dommages organiques.

- Les conditions de réalisation de la protection sont liées à la nature du schéma de liaison à la terre (S.L.T)⁵.

4 LES SCHEMAS DE LIAISON A LA TERRE.

4.1 Historique des schémas des liaisons à la terre

En 1927, l'arrêté technique fixe les conditions auxquelles doivent répondre les distributions d'énergie électrique et notamment " la mise à la terre du neutre au poste de transformation pour des raisons de limitation de surtensions ". Dès 1935, des textes prévoient la mise à la terre de certaines masses mais sans y associer la fonction de coupure automatique. La combinaison de ces deux mises à la terre préfigure la conception du schéma TT

La notion de schéma des liaisons à la terre n'apparaît clairement dans la réglementation et la normalisation française qu'au début des années 60, dans le décret de protection des travailleurs. du 14 novembre 1962 et dans la norme NFC 15-100 du mois de mars 1963. Il faudra attendre 1970 pour que Cenelcom⁶ introduise, lors des travaux d'harmonisation des règles d'installation dans les pays du marché commun, les désignations symboliques par lettres des régimes du neutre.

Dans la pratique, seuls le régime T.T, du fait de son antériorité, et I.T, pour des besoins de continuité de service, se développent. Par contre le schéma TN est complètement ignoré en France bien qu'il soit largement utilisé depuis fort longtemps dans un grand nombre de pays (USA, Allemagne,...) . Il faudra attendre que soit publié en 1973 un document normatif définissant les

³ Ces tensions doivent être obtenues par l'utilisation d'un transformateur conforme à la CEI 742.

⁴ Cette valeur est déduite de la tendance asymptotique de la courbe C1 du graphique Zone Temps / Courant.

⁵ L'expression "régime de neutre" symbolise la situation d'une installation électrique par rapport au potentiel de la terre. Du fait que cette situation ne concerne pas que le neutre, la normalisation utilise l'expression "schémas des liaisons à la terre.

⁶ Précurseur du CENELEC (Comité européen de normalisation électrique).

conditions de protection en schéma TN pour que le ministère du travail autorise officiellement la réalisation de ce schéma dans les installations électriques des établissements soumis au Code du travail. Ce document, basé sur les études internationales, comportait la première courbe définissant le temps de coupure en fonction de la tension de contact présumée.

4.2 Classification :

Un schéma des liaisons à la terre est caractérisé par deux ou trois paramètres, selon qu'il s'agit d'installations basses tensions ou d'installations hautes tensions. De ce fait, les schémas sont désignés par un ensemble de deux ou trois lettres correspondant respectivement aux paramètres de situation.

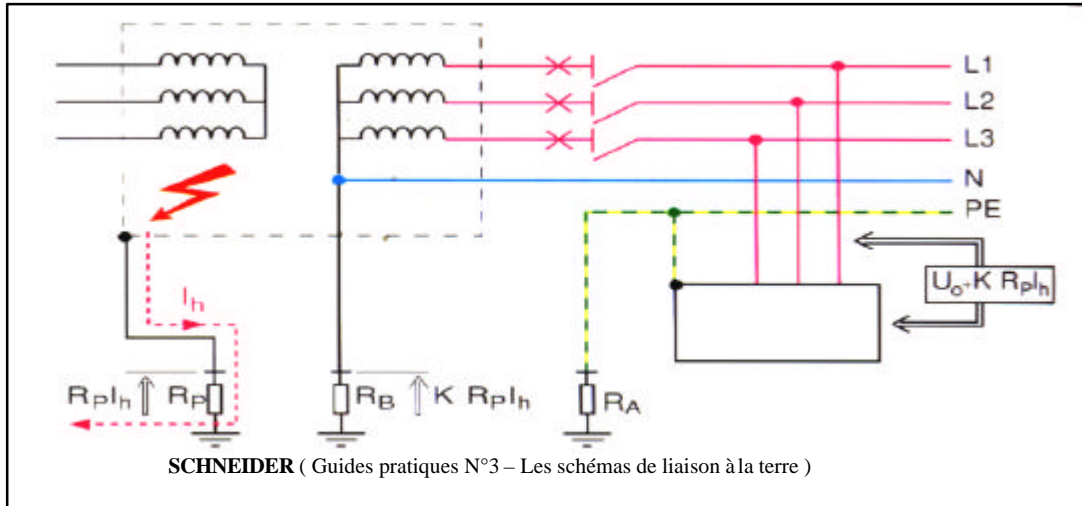
Tableau A -NFC 13-100– Classification des schémas des liaisons à la terre.			
PREMIERE LETTRE Situation du neutre		T Liaison directe à la terre	I Absence de liaison à la terre ou liaison par l'intermédiaire d'une résistance
DEUXIEME LETTRE	T Liaison à une prise de terre		
	N Liaison au neutre.		
TROISIEME LETTRE	R Liaison à la prise de terre du neutre et aux masses.		
	N Liaison à la prise de terre du neutre.		
	S Liaison à une prise de terre séparée.		

- ◆ La combinaison des différentes lettres définies dans le tableau A conduirait théoriquement à 12 schémas, mais six schémas sont réalisables en pratique.
- ◆ Pour les prises de terre, les conventions de notation sont : **P** pour la prise de terre du poste. **B** pour la prise de terre du neutre. **A** pour la prise de terre des masses. En cas d'association, il suffit de grouper les symboles.
- ◆ **En France, pour le réseau de distribution publique BTA, les solutions retenues sont les schémas TTN et surtout TTS.**

4.3 Résistance maximale des prises de terre :

- ◆ Les résistances de la prise de terre du neutre et de la prise de terre des masses influent, selon les situations sur le bon fonctionnement des appareils de protection et sur les tensions de contact.
- ◆ D'autre part afin d'éviter les effets dévastateurs d'un claquage HT, la résistance de prise de terre du poste doit présenter une valeur maximum.

Exemple : Conséquences d'une surtension HT dans la situation d'un schéma TTS.



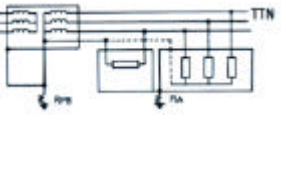
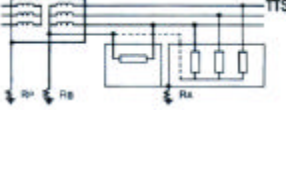
U_0 : Tension simple du réseau.

En cas de surtension sur le réseau primaire :

- Un claquage primaire-masse élève le potentiel du point neutre (tension $K R_P I_h$) par rapport à la terre et soumet les masses du matériel BT, du fait de leur prise de terre séparée, à une contrainte électrique supplémentaire (tension $K R_P I_h$) qui risque de provoquer un claquage BT. L'élévation de tension est fonction de la résistance de prise de terre du poste et du coefficient de couplage K des prises de terre R_p et R_b . Ce coefficient, inférieur à 1, mesure la répercussion de l'élévation du potentiel sur le point neutre. Si les deux prises R_p et R_b sont bien découplées, le coefficient est inférieur ou égal à 0,15. Ce coefficient de couplage doit donc être connu et mesuré.

- Dans la situation du schéma TT-N, la prise de terre du poste et du neutre R_{PB} est soumise à la tension $R_{PB} I_h$ qui élève le potentiel du point neutre. Les masses du matériel BT sont soumises à une contrainte électrique supplémentaire (tension $R_{PB} I_h$) qui risque de provoquer un claquage BT. Une faible valeur de la résistance R_{PB} limite cette contrainte. Cette résistance doit donc être connue et mesurée.

Les valeurs maximums des prises de terre sont conjointement définies par les normes NFC 15-100 et NFC 13-100

NEUTRE RELIE DIRECTEMENT A LA TERRE. Tableau 1a						
	Prise de terre commune masses poste et neutre BT (NF C 13-100, Annexe I, 4 ^e partie).		Prise de terre des masses N 413.1.4..2 NFC15-100			
	Courant maxi de défaut HT I_m^7		$R_A < \frac{U_L}{\Delta I_n}$ UL : Tension conventionnelle limite. ΔI_n : Courant nominal différentiel			
	300 A			R_{PB} 4 Ω		
1000 A		1,2 Ω				
	Prise de terre masses poste NF C 13-100, Annexe I, 4 ^e partie .		Prise de terre neutre B.T N 442.1 NFC 15-100			
	R_p		$R_B < \frac{U_{tb} - U_0}{I_m}$ U ₀ Tension phase –neutre.	$R_A < \frac{U_L}{\Delta I_n}$ UL : Tension conventionnelle limite. ΔI_n : Courant nominal différentiel		
	U_{tp}^8	2 KV			4 KV	10 KV
	$I_m=300A$	5 Ω			8 Ω	20 Ω
$I_m=1000 A$	1,5 Ω	3 Ω	10 Ω			

⁷ I_m : Courant maximal de défaut à la terre du réseau HT (300 A en aérien, 1000 A en souterrain)

⁸ U_t : Tension de tenue à fréquence industrielle : U_{tp} , des matériels BT du poste (2KV en classe 1, 4KV en classe 2, 10 KV pour le matériel sur isolé) - U_{tb} , des matériels BT de l'installation alimentée par le poste.

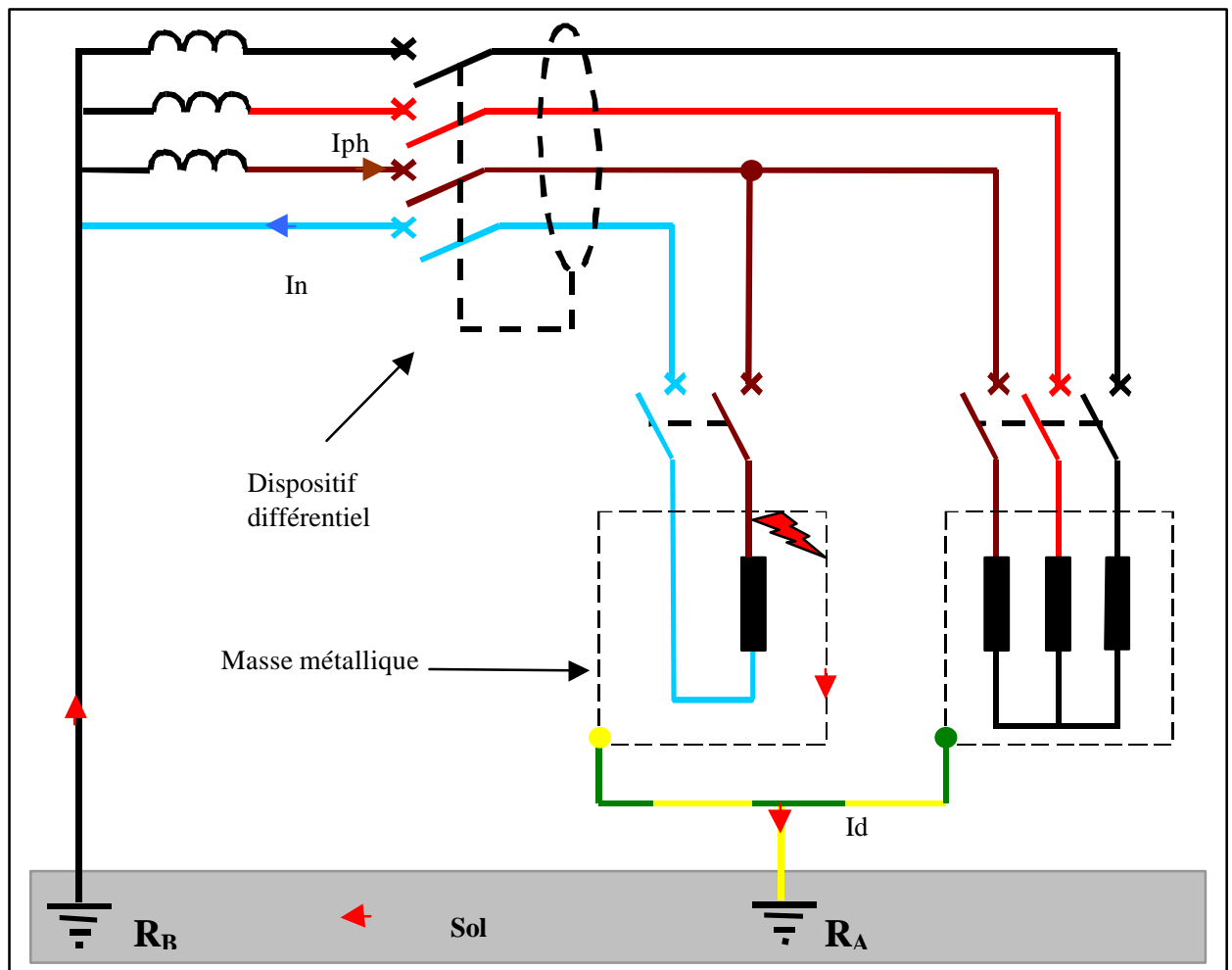
5 LE REGIME DE NEUTRE TT EN BTA.

5.1 Principe :

- En France la norme NFC 15 100 définit, pour les installations basse tension, le standard suivant :

- Tension domestique : 230 V monophasé – 400 V entre phases.
- Régime du neutre **TT (neutre à la terre, masses reliées entre elles et mises à la terre)**.

La protection contre les chocs indirects est assurée par coupure de l'alimentation lors de l'apparition du premier défaut d'isolement. Selon le principe développé ci-dessous :



Lors de l'apparition du défaut d'isolement, un courant s'écoule au travers du sol. Ce courant de fuite est détecté par le dispositif différentiel qui entraîne la coupure de l'alimentation.

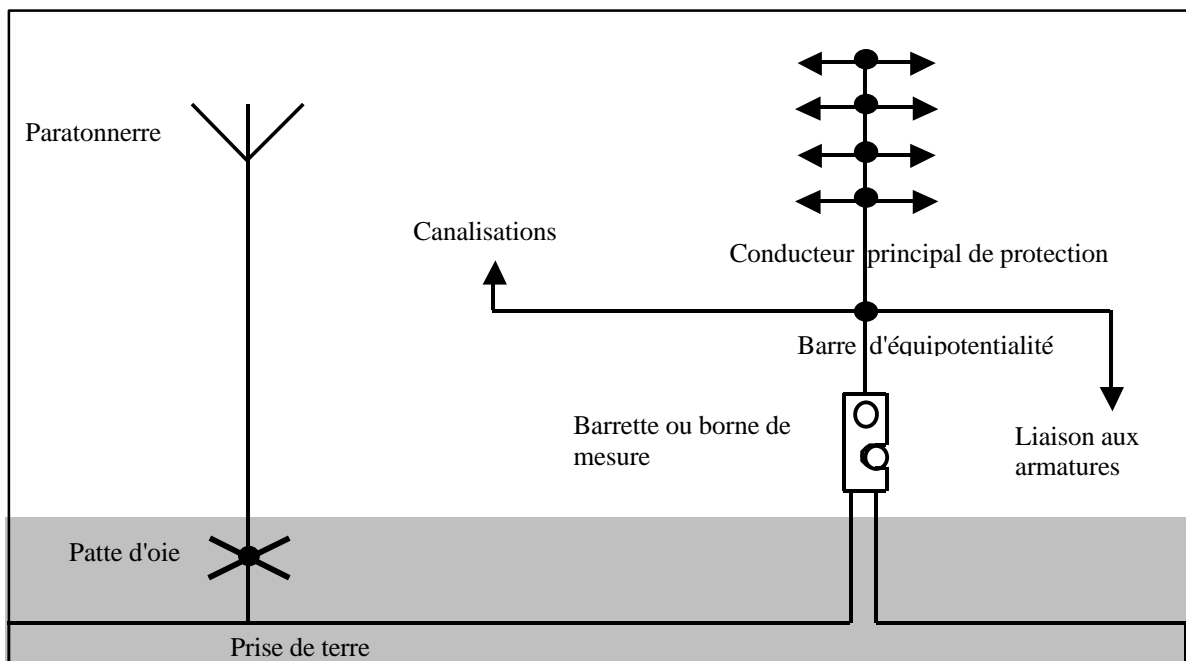
Pour que ce dispositif soit efficace, il faut que deux conditions soient réunies :

- Liaison équipotentielle des masses mise à la terre.
- Utilisation d'un dispositif différentiel en amont de l'installation.

La réalisation de la prise de terre des masses doit conditionner la valeur limite de la résistance de prise de terre.

5.2 Liaison équipotentielle

Les connexions de conducteurs de protection sur le conducteur principal de protection doivent être réalisées individuellement de manière que, si un conducteur de protection vient à être séparé de ce conducteur principal, la liaison de tous les autres conducteurs de protection au conducteur principal demeure assurée.



5.3 Dispositif différentiel :

5.3.1 Calibre ou sensibilité :

- La norme CEI 60755 définit les appellations suivantes :

Haute sensibilité : **HS** : 6,10 et 30 mA.

Moyenne sensibilité **MS** : 100, 300, et 500 mA.

Basse sensibilité **BS** : 1,3,5,10, 20 A.

- Dans la situation de la distribution publique, le fournisseur impose la valeur du dispositif différentiel⁹. De ce fait, il définit la valeur maximum de la prise de terre de l'utilisateur :

⁹ 500 mA pour le tarif bleu de 3 à 18 KVA.

Le tableau **1a** du chapitre précédent définit la valeur maximum de la résistance de prise de terre des masses, (N 413.1.4..2 NFC 15-100) de la manière suivante.

$$R_A < \frac{U_L}{\Delta I_n}$$

- U_L : Tension conventionnelle limite.
- R_A : Résistance de la prise de terre des masses
- ΔI_n : Calibre nominal du différentiel

Dans le cas général, la tension limite est de 50 V et la sensibilité du différentiel est de 500 mA (disjoncteur EDF), de ce fait R_A maximum est égale à 100 Ω .

5.32 Classe des différentiels

La nature de l'alimentation du récepteur influe sur le comportement du dispositif différentiel. Ainsi un différentiel prévu pour une alimentation sinusoïdale ne déclenchera pas dans la situation d'une alimentation continue De ce fait, trois classes de différentiel sont définies par la norme CEI 60755 :

- **Classe AC:** Courants alternatifs sinusoïdaux. Ce différentiel correspond à une technologie standard (tore,...).

- **Classe A :** Courants alternatifs sinusoïdaux ou à composante continue pulsée. La technologie est basée sur le même principe que précédemment. Seule l'intégration de composant spécifique tel que le tore de détection de la gamme "si" (alliages ferromagnétiques à courbe d'hystérésis allongés) et un composant de type A.S.I.C (application specific integrated circuit) diffère. Ses performances sont maintenues dans les situations suivantes :

- Influence des surtensions.
- Influence des hautes fréquences.
- Présence de courant de fuite (informatique).
- Fréquences harmoniques.

- **Classe B :** Protection des réseaux simple alternance redressés et filtrés par charge capacitive.

Nb : *Le marché du différentiel est aujourd'hui tenu par les appareils standards (classe AC) et les appareils de la gamme Si (type A)¹⁰.*

Au niveau des installations domestiques, la nouvelle parution de la N.F.C 15 –100 (applicable au second semestre 2003) rend obligatoire l'utilisation d'interrupteur différentiel 30 mA de classe A sur les circuits de chauffage et sur la plaque de cuisson¹¹

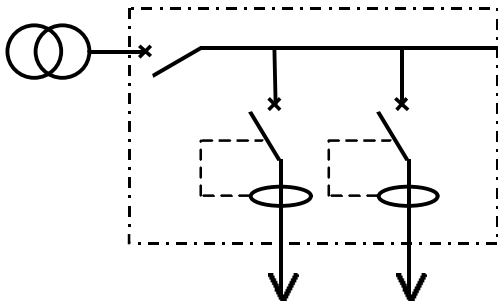
5.33 Sélectivité différentielle

Si on utilise un seul dispositif différentiel en tête d'une installation, un défaut d'isolement sur un circuit provoque une mise hors tension générale. Pour résoudre ce problème, il convient d'associer plusieurs dispositifs différentiels en établissant une sélection de circuit.

¹⁰ Information SCHNEIDER " Intersections juin 1991 "

¹¹ Information Hager Janvier 2003

- Sélection de circuit (ou sélectivité horizontale)



- La protection de tête n'est pas différentielle. Les différentiels sont obligatoirement à déclenchement instantané.
- La protection générale et les départs principaux sont dans un même tableau ou reliés par des canalisations de classe II (Câble sous conduit).

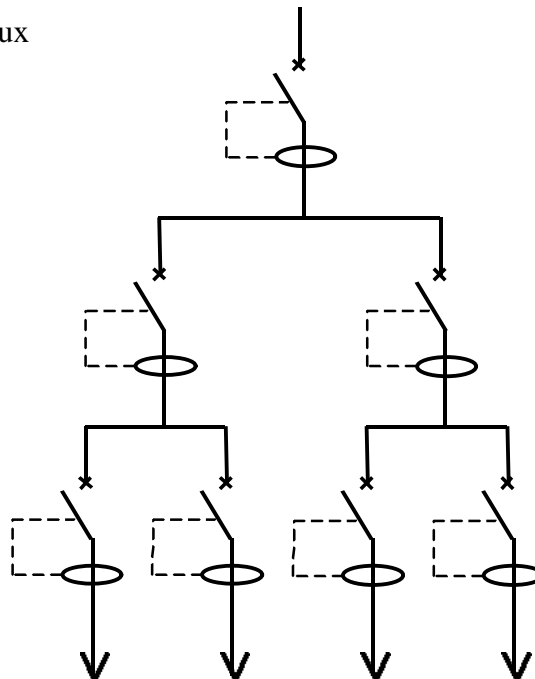
- Sélectivité verticale

Exemple : Sélectivité trois niveaux

DR 1A retardé 0,4 s

DR 500 mA retardé 0,05 s

DR 30 mA instantané



- Dans le cas d'une association en cascade, la sélectivité totale est assurée si :
 - Le calibre du différentiel placé en amont est au moins égal au double de celui placé en aval;
 - Quelle que soit la valeur du courant de défaut à la terre, le temps limite de non-réponse¹² du dispositif amont doit être supérieur au temps de fonctionnement total¹³ du dispositif aval.

Nb : Le retard ou déclenchement des dispositifs de coupure temporisée ne doit pas dépasser le minimum technique nécessité par la sélectivité, avec un maximum d'une seconde (NFC 15-100)

- Si la seconde condition n'est pas assurée, la sélectivité est dite "partielle".

¹² Le temps limite de non-réponse d'un dispositif DR est le temps maximal pendant lequel on peut appliquer un courant différentiel de valeur susceptible de faire fonctionner ce dispositif sans provoquer son fonctionnement.

¹³ Le temps de fonctionnement total d'un dispositif DR est le temps écoulé entre l'instant où un courant différentiel de fonctionnement est appliqué et l'instant où le courant est définitivement interrompu.

5.4 Prise de terre des masses

5.41 Constitution de la prise de terre

La prise de terre est constituée d'une électrode en métal bon conducteur et non corrodable en bon contact avec le sol.

Cette électrode peut être :

- Soit un câble enterré en cuivre nu de 25 mm² de section au moins, ou en acier galvanisé d'au moins 95 mm² de section.

- Soit un feuillard en acier d'au moins 100 mm² de section et 3 mm d'épaisseur, disposé de préférence sur chant, ou un câble en acier d'au moins 95 mm² de section, noyé dans le béton de propreté des fondations du bâtiment, enrobés sur tous ses cotés d'une épaisseur de béton d'au moins 3 cm.

- Les conducteurs reliant cette prise de terre aux conducteurs de protection doivent être constitués de ronds lisses pour béton armé d'au moins 50 mm² de section, enrobés dans le béton de construction. Ces conducteurs doivent être soudés aux feuillards constituant la prise de terre décrite ci avant.

- Les armatures des éléments en béton armé (poteaux, voiles poutres et planchers) doivent être reliées à la prise de terre ou aux conducteurs de protection en autant de points que possible. Ces liaisons peuvent être effectuées par des ligatures. Par contre, il faut éviter de relier au système équipotentiel ainsi constitué les armatures actives de précontraintes et leurs gaines éventuelles. Les connexions, entre les éléments en acier et conducteurs en cuivre, ne doivent jamais être nouées dans le béton et doivent se faire à l'aide de bornes appropriées installées en montage apparent.

Nb L'utilisation de canalisations de distribution publique d'eau comme prise de terre n'est pas admise par les distributeurs d'eau.

5.42 Réalisation de la prise de terre

La résistance de mise à la terre doit être la plus faible possible.

La résistance de la prise de terre dépend :

- De sa forme

- De ses dimensions

- De la résistivité du terrain dans lequel elle est établie.

La résistivité du terrain varie d'un point à un autre, suivant :

- La profondeur.

- Le taux d'humidité.

- La température.

Le gel, la sécheresse augmentent la résistivité des terrains et leur effet peut se faire sentir jusqu'à plus de 2 m de profondeur. En conséquence on doit établir les prises de terre de préférence dans les fonds de fouilles des bâtiments ou dans les caves et de toute façon en des endroits abrités de la sécheresse et du gel.

Les prises de terre doivent être tenues à distance des dépôts ou infiltrations pouvant les corroder (fumier, purin, produits chimiques, coke, ...)

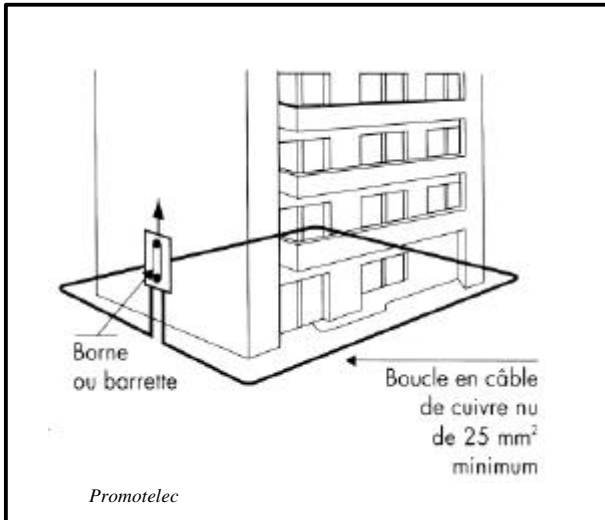
Elles ne doivent jamais être constituées de pièces métalliques plongées dans l'eau ni établies dans des pièces d'eau ou des rivières (médiocre conductivité de l'eau, risque d'assèchement, danger pour les personnes entrant en contact avec l'eau au moment d'un défaut).

Exemples de réalisation

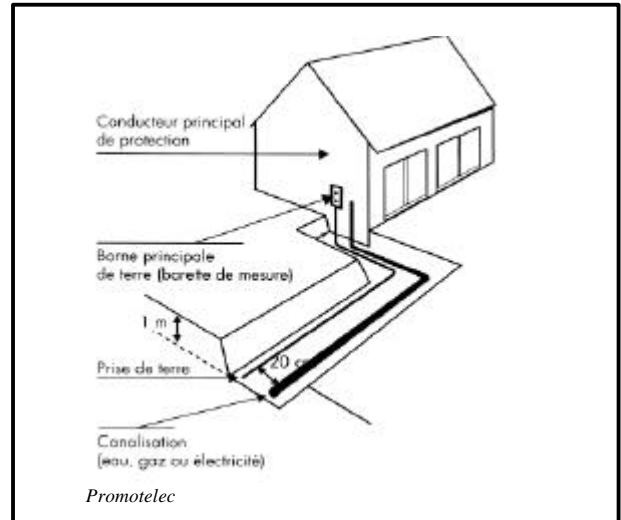
Conducteurs enfouis :

Le ceinturage à fond de fouilles intéressant le périmètre du bâtiment apporte une solution efficace dans le cas de construction d'un bâtiment.

Boucle à fond de fouilles

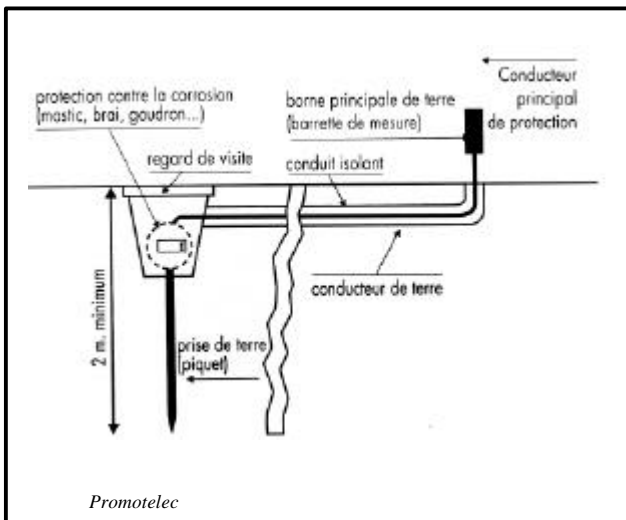


Conducteur en tranchées



Dans le cas des bâtiments existants, la prise de terre des masses peut être constituée par :

Conducteurs verticaux (piquet)



Autres solutions

Plaques minces enterrées :

En pratique, on utilise des plaques rectangulaires de 0,5 m * 1 ou des plaques carrées de 1 m de côté, enfouies verticalement pour un meilleur contact des deux faces avec le sol, de sorte que le centre de la plaque se trouve à une profondeur de 1 m.

Piliers métalliques enterrés :

Lorsque le bâtiment comporte une ossature métallique dont les poteaux des murs extérieurs constituent des prises de terre de fait, il suffit de vérifier la continuité électrique entre ces prises de terre de fait; l'ensemble constitue la prise de terre qu'il convient d'incorporer à la liaison équipotentielle principale

5.43 Calcul de la résistance de prise de terre

Constitution de la prise de terre	Calcul	Définitions des grandeurs
Conducteurs enfouis horizontalement	$R = \frac{2r}{L}$	L : Longueur de la tranchée r : Résistivité du terrain
Piquets verticaux	$R = \frac{r}{L}$	L : Partie enterrée du piquet r : Résistivité du terrain
Pilier métallique enterré.	$R = \frac{0,37r}{L} * \text{Log}\left(\frac{3L}{d}\right)$	L : Partie enterrée du pilier r : Résistivité du terrain. d : Diamètre du cylindre circonscrit au pilier.
Plaque mince	$\frac{0,8\tilde{n}}{L}$	r : Résistivité du terrain L : Périmètre de la plaque

6 MESURES ASSOCIEES AU REGIME DE NEUTRE T.T :

6.1 Résistivité du terrain :

La conception d'un réseau de terre doit débiter par une étude de la résistivité du sol dans lequel il sera réalisé.

La résistivité d'un terrain s'exprime en $\Omega.m^2/m$ (ou $\Omega.m$). Elle correspond à la résistance théorique en Ohm d'un cylindre de terrain de 1 m² de section et de 1 m de longueur. La résistivité est donc un élément très variable suivant les régions. Des tableaux donnent des valeurs typiques en fonction de la nature du terrain. Mais ces valeurs sont très indicatives et seule une mesure sur site permet de déterminer avec précision la valeur de la résistivité. Plusieurs méthodes de mesures peuvent être employées :

La méthode du prélèvement d'échantillon et la méthode des "deux électrodes"¹⁴ ne fournissent que des informations très locales et souvent insuffisantes.

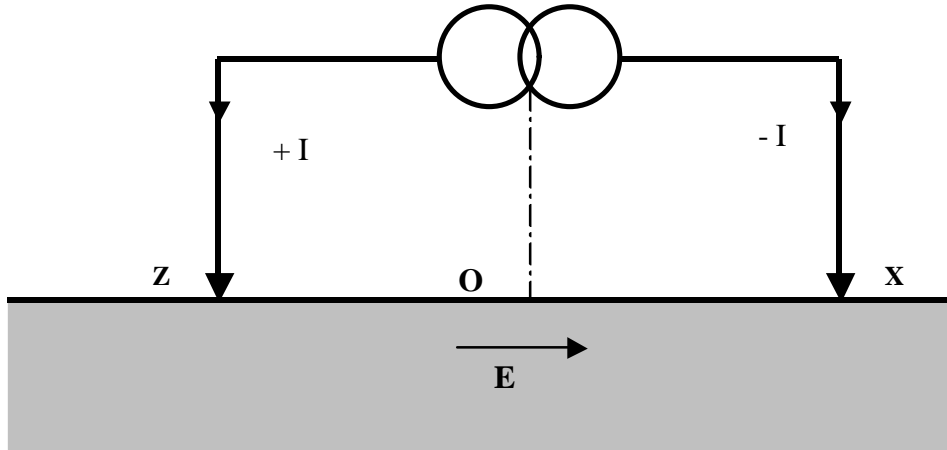
On peut utiliser la mesure d'une résistance de prise de terre d'une électrode de forme connue (piquet de 1 m par exemple) pour déterminer la résistivité du terrain qui l'entoure. Cette méthode a l'avantage de fournir une mesure globale, mais elle ne s'applique bien que si la prise de terre à implanter est de dimensions comparables à celles de l'électrode utilisée comme référence.

La méthode la plus utilisée pour déterminer la résistivité du sol est celle des "quatre électrodes " dite **méthode de Wenner**.

¹⁴ Deux petites électrodes sont fixées sur un piquet isolant que l'on enfonce dans le sol. La mesure de la résistance inter électrodes donne une indication de la résistivité des sols.

6.11 Méthode de Wenner : (d'après Chauvin Arnoux)

Pour connaître, à l'aplomb d'un point O, la résistivité du sol en fonction de la profondeur, on fait circuler à l'aide d'un générateur G un courant I entre deux prises de terre ponctuelles Z et X .



En sol de résistivité ρ^{15} , la valeur du champ électrique E au point O qui est du à la présence des charges électriques de signes contraires venant de Z et X, a pour valeur :

$$E = \frac{\mathbf{r}}{2P} \left[\frac{(+I)}{ZO^2} - \frac{(-I)}{OX^2} \right]$$

Le point O étant équidistant de Z et X, on en déduit la formule suivante :

$$\mathbf{r} = \rho d^2 \frac{E}{I}$$

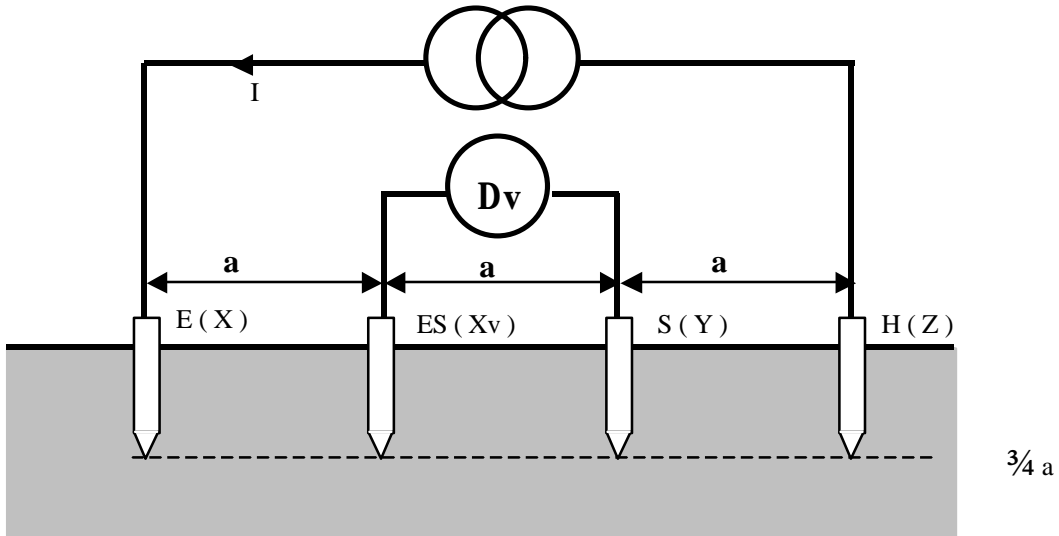
Avec $d = OX = OZ$

En pratique (méthode de Wenner), on détermine le champ électrique E en faisant le rapport entre la différence de potentiel Dv , qui existe entre deux électrodes de terre Y et X_v disposées symétriquement par rapport à O, et leur écartement a . Les électrodes génératrices de courant (Z et X) sont disposées symétriquement par rapport à O à une distance de 1,5 a. La profondeur d'investigation est de 0,75 a. Les piquets sont alignés.

(voir schéma page suivante)

¹⁵ Le sol étant rarement homogène cette valeur exprime la résistivité apparente des couches cumulées du sous sol atteintes par le filet de courant circulant entre X et Z.

Méthode de Wenner : Schéma de principe



$$r = 2.p.a.R$$

- EDF réalise deux mesures dans deux directions perpendiculaires avec $a = 4m$.

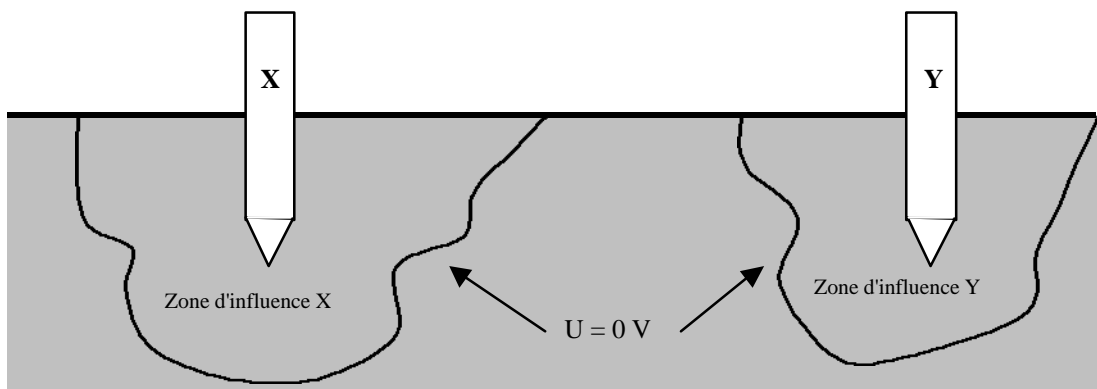
6.2 Résistance de la prise de terre

Sur le plan théorique, on peut réaliser une prise de terre au moyen d'un piquet enfoncé dans le sol. L'écoulement d'un courant de défaut se fera donc d'abord à travers les résistances de contact qui se subdivisent elles même en une multitude de résistances constituées par des intervalles existants entre chacun des constituants du terrain considéré.

A une certaine distance de la prise de terre, le nombre des résistances de contact en parallèle tend vers l'infini et constitue une résistance équivalente quasiment nulle. A partir de cette limite, quelle que soit l'intensité du courant de défaut, le potentiel est nul. La zone de référence qui constitue la réelle mise à la terre est atteinte.

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

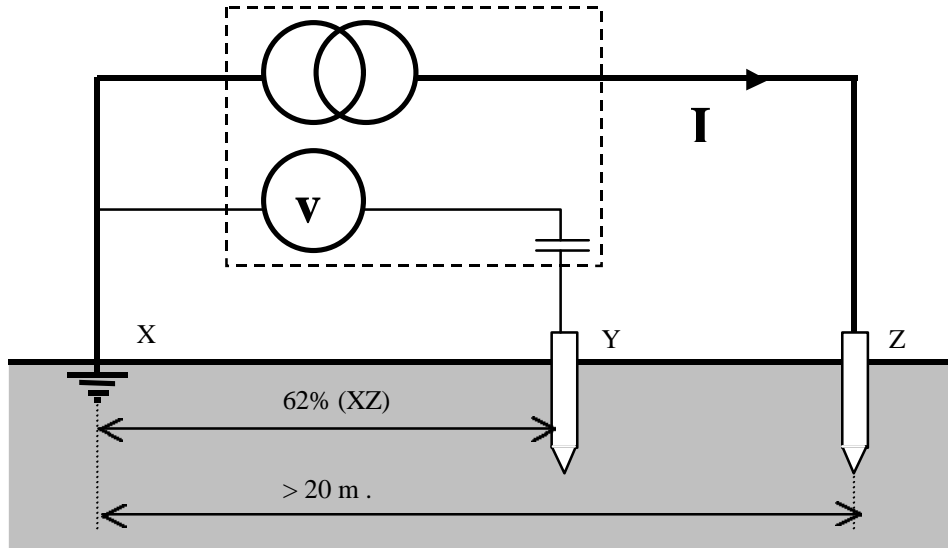
La qualité de la prise de terre dépendra donc de sa forme, de sa surface et de son emplacement dans le terrain.



6.21 Mesure de Ra par la méthode des 62 %

6.211 Principe :

Deux piquets auxiliaires sont utilisés pour effectuer cette mesure. La barrette de terre est déconnectée de l'installation. Les piquets sont "plantés" en ligne.



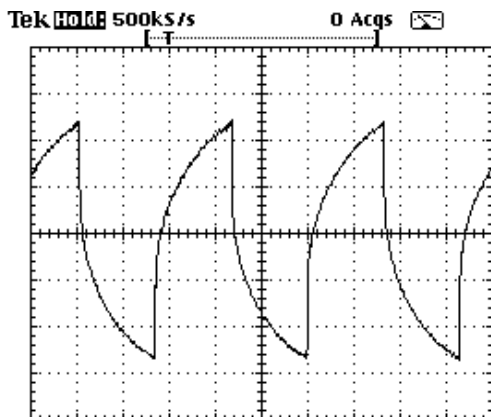
X étant la prise de terre à mesurer, le telluromètre génère un courant à travers la prise auxiliaire Z (prise d'injection courant), le retour se réalisant par la prise de terre à mesurer. On mesure la tension V entre la prise de terre X et la prise auxiliaire Y (prise de potentiel).

L'appareil affiche le résultat du calcul $R = V/I$. Pour valider cette mesure, il faut la reproduire en vérifiant que la valeur mesurée est à peu près identique pour $(XY) = 52 \% (XZ)$ et $(XY) = 72 \% (XZ)$. Dans le cas contraire, il faut augmenter la distance XZ ¹⁶

6.212 Exemple:

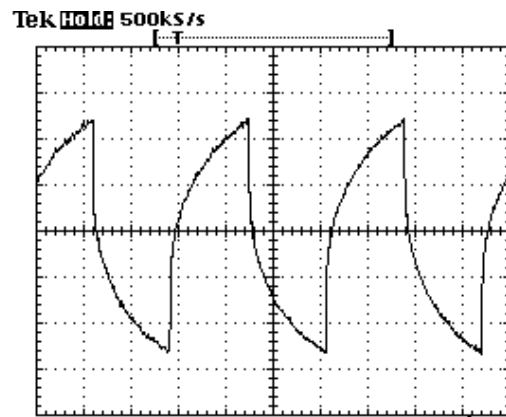
Mise en œuvre d'un Métrix **MX 438** réalisant la mesure de la prise de terre par la méthode des 62 %.

Tension V_{xy} (en pos AC)



B-2 200mV 500µs

Courant parcourant la boucle ZX



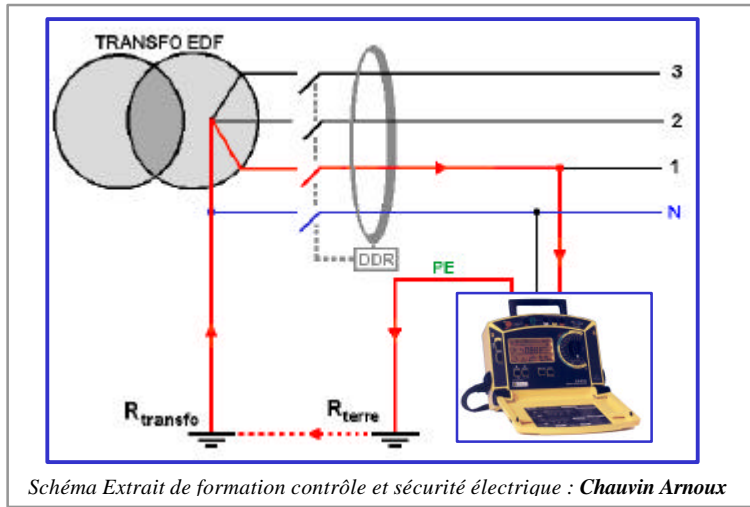
I 5 mA 500µs

Affichage sur l'appareil : R = 43 W

¹⁶ EDF préconise 100 m

6.22 Mesure de Ra par la méthode de boucle :

6 221 Principe :



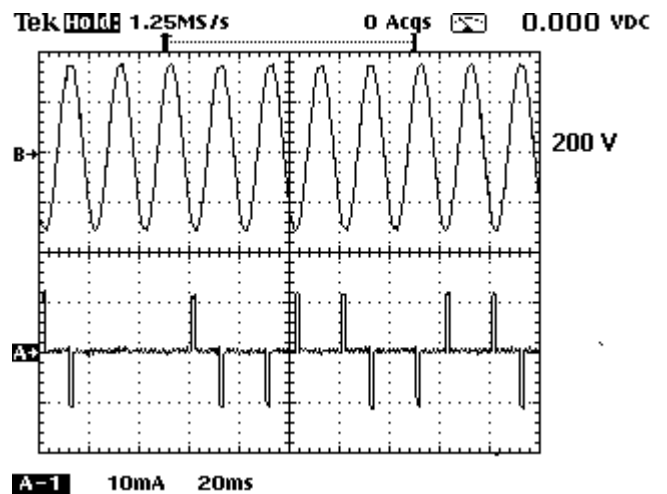
La mesure inclut :

Les résistances de prise de terre, la résistance interne du transfo et des câbles. Cette mesure effectuée par excès donne une valeur approchée. La validité de la mesure diminue avec la valeur de la résistance réelle. Elle est rapide à mettre en œuvre.

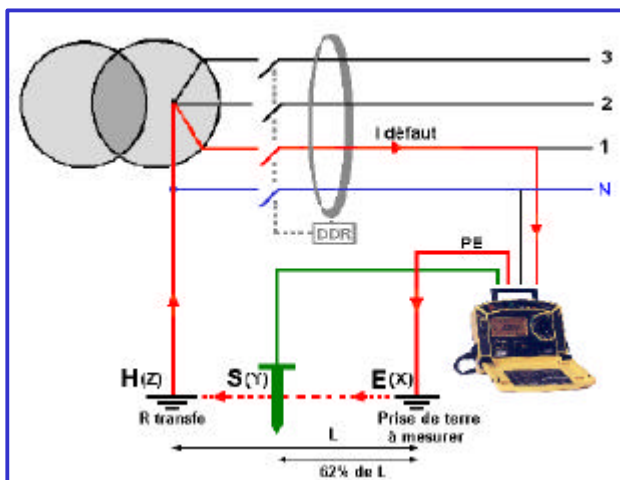
Tension phase/PE, courant dans conducteur Pe

6.222 Exemple :

Le CA 6115 charge alternativement le réseau. A partir de la différence des deux tensions mesurées (à vide et en charge) et du décalage de phases, le processeur calcule l'impédance de boucle et l'affiche.



6.23 Mesure par la méthode variante des 62 % :



Cette méthode est identique et aussi précise que la méthode 62% mais la mesure est alimentée à partir du secteur (pas de déconnexion) et un seul piquet S est à planter (rapidité).

6.3 Résistance d'isolement:

Le déclenchement d'un disjoncteur différentiel peut être dû à un défaut d'isolement entre deux éléments actifs ou entre un des ces éléments et la protection électrique. Un contrôle de l'isolement effectué hors tension permet de diagnostiquer l'origine du défaut. Le contrôle doit être effectué en regard des prescriptions de la N.F.C 15-100 :

Tensions nominales de l'installation	Tension de test DC	Résistance d'isolement minimum
< 50 V	250 V	≥ 0,25 MW
de 50 V à 500 V	500 V	≥ 0,5 MW
de 500 V à 1000 V	1000 V	≥ 1 MW

Pour les câbles chauffants noyés dans les parois des bâtiments, l'isolement doit être : supérieur à 0,25MW pour $U_n = 230V$ et supérieur à 0,4MW pour $U_n = 400V$.

Exemple :



Le CA 6115 mesure la résistance d'isolement entre L-N, L-Pe, N-Pe sous une tension sélectionnable de 500, 250 ou 100 V DC avec un courant supérieur à 1 mA (EN 61-557). La durée de la mesure est liée au temps d'appui sur la touche TEST ,ou 4s en mode automatique. La décharge s'effectue automatiquement au travers d'une résistance de 400 K Ω

La valeur de la résistance d'isolement est affichée pour des valeurs inférieures à 600 M Ω (sous 500 V) ou 300 M Ω (sous 300 V).

➤ Influence du temps de mesure :

La mesure d'isolement sur des éléments capacitifs ou inductifs (moteurs, long câbles, ...) est instable car elle implique 3 courants lors du test :

- ◆ Un courant capacitif qui s'annule dès la composante capacitive chargée.
- ◆ Un deuxième courant « d'absorption diélectrique¹⁷ » qui s'annule après le courant capacitif.
- ◆ Un troisième courant de fuite, constant, seul représentatif de l'isolement

De ce fait, sur ces éléments, il faut prolonger la mesure pendant 10 minutes de manière à vérifier les deux valeurs suivantes :

¹⁷ Des dipôles induits sont créés au sein d'un diélectrique par l'application d'un champ électrique dont l'action développe une force, identique à celle produisant un courant dans les conducteurs, entraînant une migration des charges liées positives et négatives présents dans les molécules.

- INDEX DE POLARISATION = R_{10mn} / R_{1mn}
 - si P.I. > 4 excellent isolement
 - si P.I. = 2...4 bon
 - si P.I. = 1...2 douteux
 - si P.I. < 1 dangereux

- RATIO D'ABSORPTION DIELECTRIQUE = R_{1mn} / R_{30s}
 - si DAR > 1,25 bon isolement
 - si DAR < 1,25 mauvais

6.4 Performances du dispositif différentiel :

En cas de défaut, l'interrupteur ou le disjoncteur différentiel doit assurer la coupure de l'installation. Les performances du dispositif peuvent être contrôlées par des mesurages qui valident la conformité normative.

6.41 Performances mesurées

1. Courant de déclenchement :

La norme EN 61-009 1 (NF C 61-440) impose, pour tout DDR, un déclenchement à partir d'un courant de fuite égal à 50 % de sa sensibilité

2. Temps de déclenchement :

Temps de déclenchement pour ΔIn , $2\Delta In$ et $5\Delta In$ (norme CEI 1008-1).

Type de disjoncteur	D In	2 DIn	5 DIn	Remarques
Standard	0,3	0,15	0,04	Temps max (s)
Sélectif	0,5	0,2	0,15	Temps max (s)
	0,13	0,06	0,05	Retard minimum (s)

6.42 Mesurage :

6.421 Méthodes classiques :

Le courant de déclenchement peut être mesuré à l'aide d'un potentiomètre et d'un ampermètre. Complémentairement les temps de déclenchement peuvent être contrôlés à l'aide d'un oscilloscope à mémoire.

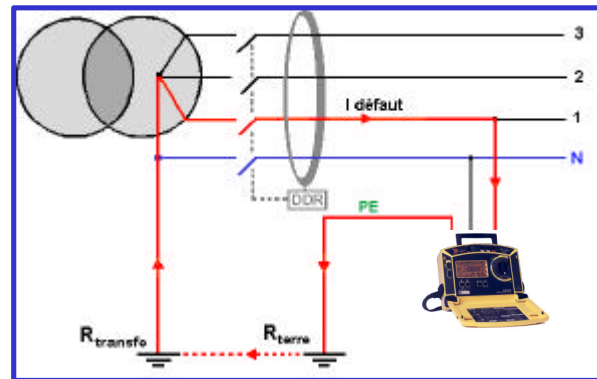
6.422 Mesureur adapté : (Exemple CA 6115)

Le CA 6115 permet de vérifier les performances des dispositifs différentiels pour des calibres compris entre 10 et 1000 mA inclus.

Principe du test différentiel :

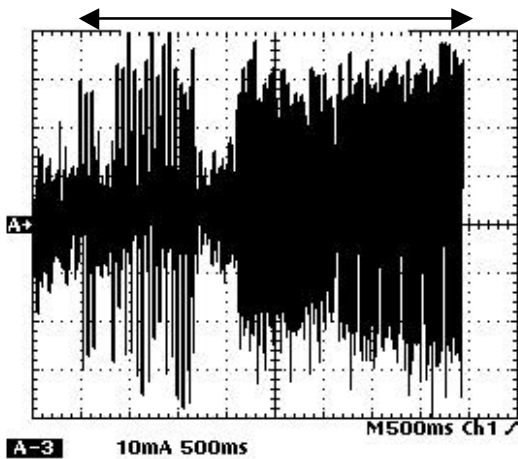
Après le test des tensions L-Pe et N-Pe, la source de courant est appliquée à la tension la plus élevée par rapport à PE. Un test de non déclenchement du différentiel est ensuite automatiquement réalisé pendant 1s avec 50 % de $I_{\Delta n}$. Par la suite, l'appareil crée un courant de défaut en 17 pas de 50% à 103% de $I_{\Delta n}$. Chaque pas est maintenu constant pendant 200 ms.

Extrait de formation contrôle et sécurité électrique : Chauvin Arnoux

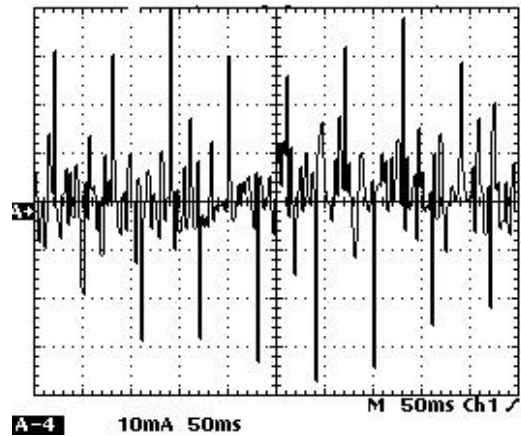


Exemple d'application : Temps et courant de déclenchement d'un disjoncteur différentiel 30 mA (sans sonde) fonction rampe forme sinus sans sonde de terre.

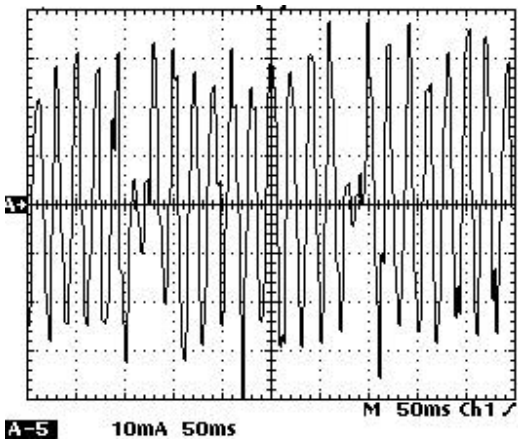
Courant dans Pe pendant la mesure



Courant au début du test :



Courant en fin de test :



- Courant de déclenchement : 22 mA
- Temps de déclenchement : 143 ms

Nb : Pour connaître le temps de déclenchement avec plus de précision, il faut utiliser la fonction «impulsion».

6.5 Mesure de couplage :

Comme vue précédemment au 4-5, le coefficient de couplage affecte les conséquences d'une surtension H.T dans la situation d'un schéma T.T.S. Ce coefficient de couplage doit être inférieur à **15 %**.

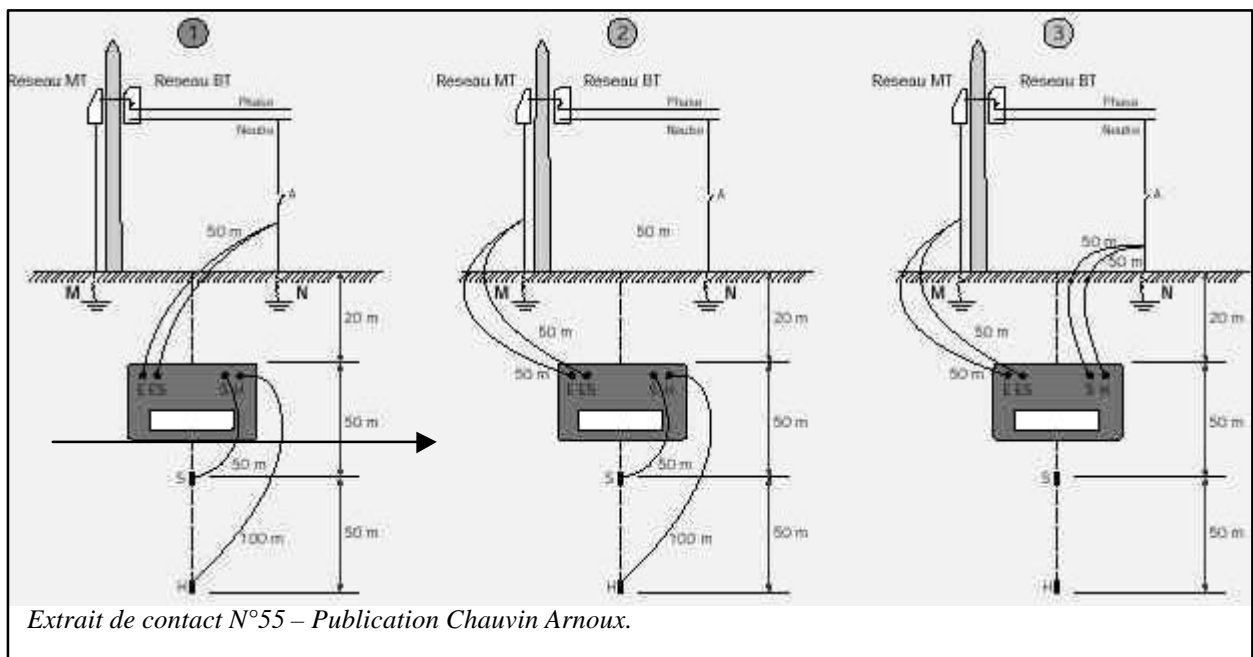
Pour le déterminer, EDF procède de la manière suivante :

- Mesure de la terre du neutre R_B par la méthode des 62 % après avoir déconnecté le neutre sauf s'il n'existe pas d'autre M.A.L.T.
- Mesure de la terre de la masse du transformateur R_P par la méthode des 62 %
- Mesure de la résistance R_{BP} à l'aide d'un mesureur 4 fils.

➤ Calcul du couplage $R_c = \frac{R_p + R_B - R_{BP}}{2}$

➤ Calcul du coefficient de couplage : $C = \frac{R_c}{R_p}$

Exemple de mesure du couplage avec un TERCA 2 (Chauvin Arnoux)¹⁸ :



Distance minimum entre R_p et R_B en fonction de ρ :

Résistivité r	< 300 $\Omega.m$	< 300 $\Omega.m$	< 300 $\Omega.m$	> 1000 $\Omega.m$
Distance mini	8 m	16 m	24 m	Etudier cas par cas

¹⁸ M est équivalent à R_p et N est équivalent à R_B . Cet appareil permet d'effectuer des mesures de résistivité (méthode de Wenner) et de résistance de prise de terre (méthode des 62%°).

Pour en savoir plus :

- ✓ **Guide PROMOTELEC : Locaux recevant des travailleurs 1^{ère} et 2^e partie**
7^e Edition Novembre 1996. Espace Elec CNIT – BP 9- 92508 Paris- La défense (01-41-26-56-60)
Cet ouvrage résume les règles essentielles des textes réglementaires et normatifs, applicables aux installations industrielles, extraites des normes, NFC15-100, NFC14-100 et NFC13-100.

- ✓ **Publication INRS ED 1522** Habilitation électrique août 1996
Un article de 10 pages sur les effets du courant électrique.

- ✓ **Les schémas de liaison à la terre : Collection guides pratiques n°3**
SCHNEIDER électrique. 1^{ère} Edition du 02/98
De lecture facile, ce guide répond à la plupart des questions liées au régime de neutre (principe, limite de bon fonctionnement, règles d'installations, applications,).

- ✓ **Revue intersections SCHNEIDER électrique. Edition juin 2001**
Un guide technique sur la protection différentielle dans les installations électriques basses tensions.

- ✓ **Revue intersections SCHNEIDER électrique. Edition novembre 1998**
Un guide technique sur les S.L.T en basses tensions.

- ✓ **Site internet SCHNEIDER :** <http://www.schneider-electric.fr> Rubrique L'enseignement technique.
Consultation au format PDF des guides techniques énumérés ci-avant.

- ✓ **Publication CHAUVIN ARNOUX Contact N°55.**
Pour tout savoir sur les mesures associées au régime TT

- ✓ **Diaporama CHAUVIN ARNOUX** Formation Contrôle et Sécurité Électrique
Par Cécile LE GOUÉ
Mise en projection du guide précédent.

- ✓ **Documentations E.D.F**