

7.7.3. 2^{ème} méthode de mesure

La puissance réactive peut être mesurée directement au moyen d'un wattmètre modifié ("Varmètre"). Le wattmètre, comme déjà vu au paragraphe 7.6-2., est un appareil permettant de mesurer la puissance active. Remplaçons dans le circuit "tension" de ce wattmètre la résistance interne de ce circuit par une réactance inductive (self). On déphase ainsi de 90° ($\pi/2$ rad.) le courant dans ce circuit par rapport à la tension qui lui est appliquée. Ainsi, on mesure une puissance qui est égale à :

$$U \cdot I \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) = U \cdot I \cdot \sin \varphi = Q$$

Ceci est la puissance réactive.

7.8. Mesures électriques particulières

7.8.1. Mesure d'isolement

Tout appareil ou installation électrique nécessite de multiples conducteurs électriques. Pour assurer le confinement, tant sur le plan fonctionnel que sur celui de la sécurité, ces conducteurs doivent être isolés. Les courants de défauts circulant dans les installations sont éliminés par les dispositifs de sécurité comme les différentiels, les fusibles et autres disjoncteurs. Ils proviennent, soit de défauts francs, soit de mauvais isollements, entre conducteurs sensés être isolés entre eux.

La mesure des résistances d'isolement permet de surveiller le vieillissement des installations et de prévenir par exemple les risques de disjonction intempestive des différentiels.

Les normes NF C 15-100 et IEC 364 définissent les niveaux d'isolement en vigueur pour la conformité des installations.

7.8.1.1. Aspect normatif

Rappels sur les normes NF C 15-100 et IEC 364

La mesure de la résistance d'isolement s'effectue :

- entre chaque conducteur actif et la terre
- sur des tronçons de 100 mètres, les récepteurs étant normalement raccordés
- tous les conducteurs actifs étant reliés entre eux
- on applique alors la tension d'essai (250, 500 ou 1000 V...) entre la terre et ces conducteurs.

Tension nominale du circuit	Tension d'essai en courant continu	Résistance d'isolement
Très basse tension		
de sécurité (TBTS)	250 V	$\geq 0,25 \text{ M}\Omega$
$\leq 500 \text{ V}$ (sauf TBTS)	500 V	$\geq 0,5 \text{ M}\Omega$
$> 500 \text{ V}$	1 000 V	$\geq 1,0 \text{ M}\Omega$

Remarque :

D'autres tensions d'essai sont utilisées selon le type d'application, par exemple :

- 50 V pour les installations téléphoniques et TBT.
- 2500/5000 V pour les installations MT (ferroviaire, industrie, EDF,...).

7.8.1.2. Méthode de mesure.

La mesure doit toujours être pratiquée sur des éléments hors tension en 2 phases bien distinctes :

1. vérification de la continuité du conducteur de protection
2. contrôle de la résistance d'isolement.

La mesure de continuité

Cette mesure sert à vérifier la continuité des conducteurs de mise à la terre, qui assurent l'écoulement des courants de défaut. Le courant de mesure doit être de 200 mA minimum.

Dans cette phase de contrôle, il faut brancher l'appareil de test entre deux points : la barrette de terre de l'installation et successivement les différents points de masses accessibles.

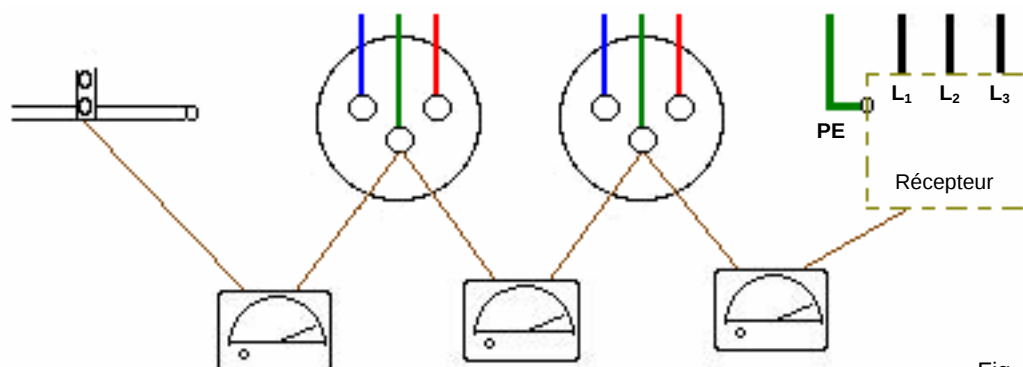


Fig. 7.8-1

Pour effectuer ce contrôle, on utilise généralement un ohmmètre, mais aussi parfois un "buzzer" ou une lampe de poche spécifique.

La mesure de la résistance d'isolement

La tension appliquée doit être une tension continue. Elle se réalise généralement entre deux points, mais certains appareils spécifiques plus évolués permettent une mesure automatique entre trois points (couvrant ainsi les isollements entre P/PE, P/N et N/PE). Lorsque les résistances mesurées tendent vers de très faibles valeurs, à défaut de garantir une tension d'essai constante (qui nécessiterait une source d'énergie de puissance infinie), les appareils doivent générer un courant d'essai minimum de 1 mA.

7.8.2. Le test de la rotation des phases

Ce test réalisé à l'aide d'un analyseur de réseaux permet de vérifier et de mettre en conformité l'ordre de rotation des phases des installations triphasées, afin de procéder par la suite à un raccordement correct des différents systèmes (moteurs, transformateurs...).

7.8.3. La mesure du DDR (relais de protection différentiel)

Le différentiel interrompt la circulation des courants de défauts lorsque ceux-ci atteignent des valeurs qui ne sont plus compatibles avec la sécurité, compte tenu de la valeur de la terre (tension de contact inférieure à 50 V ou 25 V).

La méthode de mesure consiste à effectuer deux tests permettent de s'assurer du bon fonctionnement des dispositifs différentiels :

- La mesure du temps de disjonction : elle se réalise en faisant circuler un courant de défaut de valeur fixe, égal ou proportionnel au calibre nominal du différentiel.
- La mesure du courant de disjonction : elle se réalise en faisant croître le courant progressivement (rampe) jusqu'à la disjonction du différentiel. Celle-ci doit se produire entre 50% et 100% du calibre nominal.

7.8.4. Les principales méthodes de mesure de terre

Par souci de sécurité, le législateur, à travers les normes NF C 15-100 et IEC 364 entre autres, a rendu obligatoire l'installation d'une prise de terre. Son implantation dépend du « terrain » et de la valeur de sa résistance également.

7.8.4.1. Méthode de mesure en ligne (méthode des 62%)

Cette méthode nécessite l'emploi de deux électrodes (ou « piquets ») auxiliaires pour permettre l'injection d'un courant alternatif (I) constant à l'aide d'un générateur G approprié et la référence de potentiel 0V.

La position des deux électrodes auxiliaires, par rapport à la prise de terre à mesurer E(X), est déterminante. Pour effectuer une bonne mesure, il faut que la « prise auxiliaire » de référence de potentiel (S) ne soit pas plantée dans les zones d'influences des terres E et H zones d'influence créées par la circulation du courant injecté I.

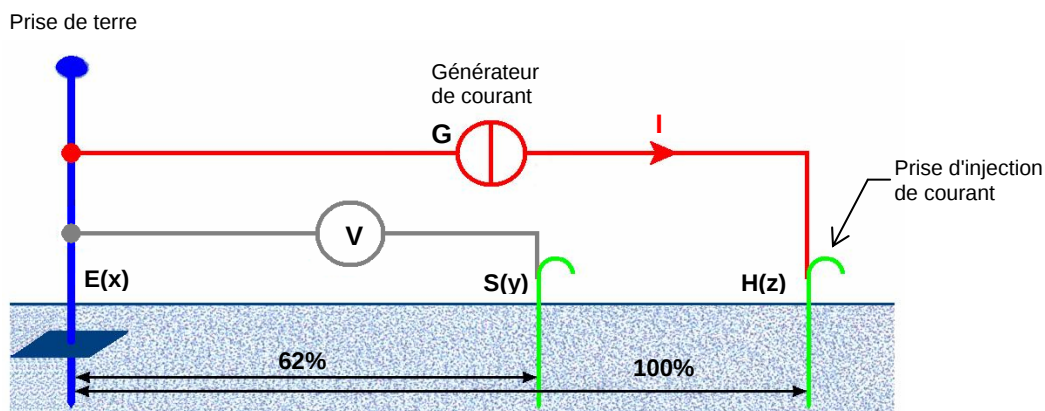


Fig. 7.8-2

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

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

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

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

Le quotient de la tension V, ainsi mesurée par le courant constant injecté (i), donne la résistance recherchée.

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

7.8.4.2. Méthode de mesure en triangle_(deux piquets)

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

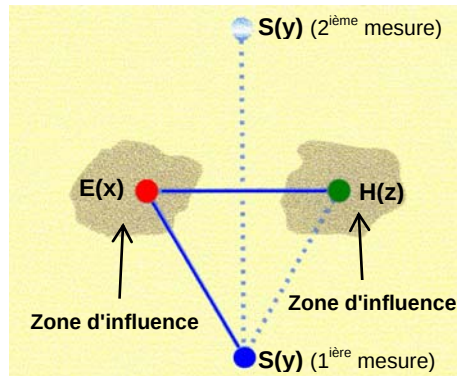


Fig. 7.8-3

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

- la prise de terre E et les piquets S et H forment un triangle équilatéral (si possible)
- effectuer une première mesure en plaçant S d'un côté, puis une seconde mesure en plaçant S de l'autre côté.

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

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

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

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

7.8.4.3. Méthode variante des 62% (un piquet)

Cette méthode n'est possible que lorsque le neutre du transformateur de distribution est relié à la terre soit directement, soit à travers une impédance (régime TT ou IT).

Contrairement aux deux méthodes précédente, celle-ci n'exige pas la déconnexion de la barrette de terre et elle ne nécessite l'utilisation que d'un seul piquet auxiliaire (S).

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

Le principe de mesure reste le même que pour la méthode des 62 % :

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

La tension mesurée divisée par le courant injecté donne également la valeur de la résistance de terre.

Cette seconde méthode est illustrée par la figure ci-dessous.

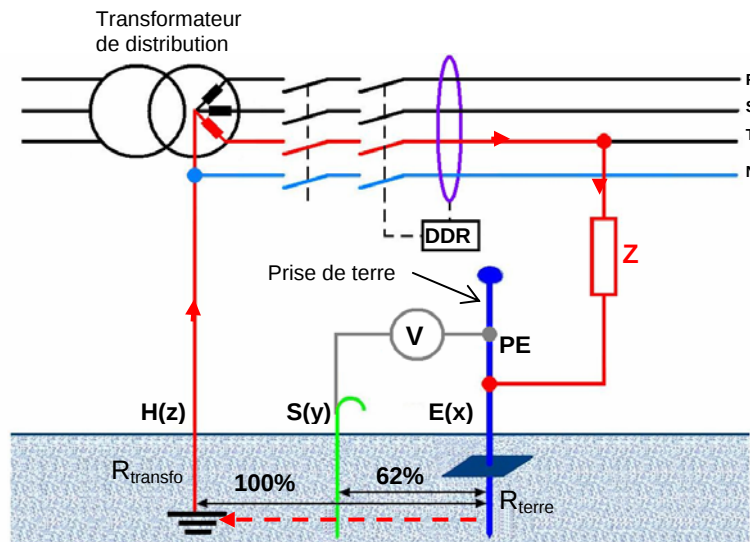


Fig. 7.8-4

Les différences avec la méthode des 62 % sont :

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

7.8.4.4. Méthode de boucle Phase-PE (uniquement en Schéma TT)

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

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

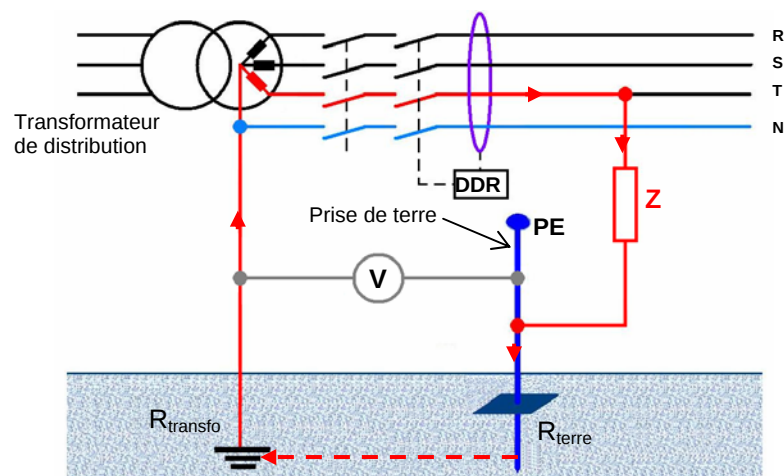


Fig. 7.8-5

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

La valeur réelle de la terre est donc inférieure : $R_{\text{mesuré}} > R_{\text{terre}}$

L'erreur de mesure (par excès) introduite par cette méthode va dans le sens d'une sécurité accrue.

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

Remarque :

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

7.8.4.5. Méthode avec une pince de terre

Certaines installations électriques disposent de multiples mises à la terre en parallèle, en particulier dans certains pays du monde où la terre est « distribuée » chez chaque usager par le fournisseur d'énergie.

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

Pour ce genre de réseau, il est possible d'optimiser la sécurité et la rapidité des contrôles au moyen d'une pince de terre.

Dans ce cas, il n'est pas nécessaire d'isoler l'installation (par ouverture de la barrette de terre), ni de planter des piquets.

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

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

La figure ci-dessous permet d'en comprendre le fonctionnement :

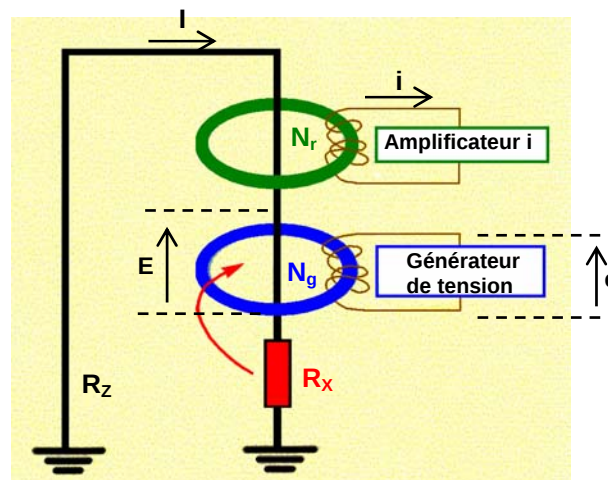


Fig. 7.8-6

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

Nous sommes dans le cas d'un réseau de terres en parallèles.

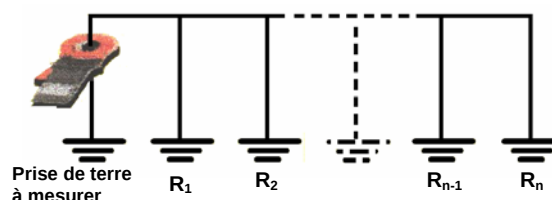


Fig. 7.8-7

Sachant que « n » résistances en parallèle équivalent à une résistance R_{aux} de valeur négligeable, on peut mesurer la valeur de la terre locale R_x :

$$R_{\text{boucle}} = R_x + R_{aux}$$

avec R_{aux} = résistance équivalente à $R_1 \dots R_n$ en parallèle

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

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

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

7.8.5. Le contrôle des machines électriques

7.8.5.1. Généralités

Les tests les plus souvent préconisés par les différentes normes relatives au contrôle des appareillages électriques concernent les mesures de diélectrique, d'isolement, de continuité du circuit de masse, de temps de décharge et de courant de fuite. Les valeurs d'essais variant d'une norme à une autre, il est impossible de les passer toutes en revue. La nouvelle Directive "Machines" EN 60204-1 régit la sécurité des "machines industrielles", neuves ou installées. Elle offre aussi l'intérêt d'imposer des tests tout à fait représentatifs de ceux préconisés pour l'ensemble des appareillages électriques en général. Nous évoquerons dans cet ouvrage les mesures électriques principales.

7.8.5.2. L'essai diélectrique

L'essai de rigidité diélectrique permet de s'assurer de la tenue de la machine en cas de surtension (et ainsi prévenir d'éventuels claquages, courts-circuits ou explosions,...)

Méthode de mesure.

L'application de la tension doit s'effectuer entre les conducteurs et le circuit PE (masse). L'essai doit être réalisé sous 2 fois la tension nominale, avec un minimum de 1000 V, sous 500 VA, pendant 1 seconde.

7.8.5.3. L'essai d'isolement

Vérifier la qualité de l'isolement entre les parties sous tension et celles hors tension permet de surveiller le vieillissement progressif du matériel et prévient les risques de défauts.

Méthode de mesure.

La mesure est réalisée entre les conducteurs du circuit de puissance et le circuit de masse. Sous une tension d'essai de 500 V DC, la résistance d'isolement doit être au minimum de 1 M..

7.8.5.4. La mesure de continuité

Les courants de défaut doivent s'écouler facilement à la terre. La mesure de continuité vérifie la faible résistance du circuit de masse pour assurer une protection efficace.

Méthode de mesure.

Le contrôle s'effectue entre la borne PE (extrémité du câble de masse) et les différents points du circuit de masse. La chute de tension avec un courant d'au moins 10 A AC, pendant plus de 10 secondes, ne doit pas excéder certains seuils, fonction de la section du conducteur de masse : 3,3 V pour une section de 1 mm² ; 2,6 V pour 1,5 mm² ; 1,9 V pour 2,5 mm² ; etc.

7.8.5.5. La mesure du temps de décharge

Suite à une coupure intentionnelle ou accidentelle de l'alimentation de la machine, celle-ci ne doit plus présenter de tension dangereuse sur ses parties accessibles (ex : bornes d'alimentation) ou sur ses parties internes au bout d'un certain laps de temps. Cette mesure permet de vérifier que la machine se "décharge" correctement.

Méthode de mesure.

La détection de la coupure de l'alimentation enclenche le comptage du temps nécessaire à la décharge. Celle-ci doit être effective ($U < 60$ V) en moins de 1 seconde pour les parties accessibles, et 5 secondes pour les parties internes.