

1 Introduction.

Il a été vu précédemment que la protection des personnes contre les contacts indirects pouvait être assurée par un contrôle efficace du niveau d'isolement de l'installation, s'il s'accompagnait d'une coupure **automatique** de l'alimentation **avant** le contact.

1.1 Domaines ...

NOTA BENE : ce document s'appuie essentiellement sur les parties de la NFC 15-100 (§4 et 5 notamment) qui traitent des schémas de liaison à la terre HORS installations et locaux spéciaux (dont les LOCAUX D'HABITATION), pour ces derniers, il faut se référer au §7.

TITRE 7. - Règles pour les installations et emplacements spéciaux

De plus la protection des personnes contre les contacts indirects est traitée au titre S3 de la norme ...

1.2 Remarques :

1.2.1 Emplois de la TBTS.

Lorsque le risque est très élevé, piscine, salle d'eau (etc ...) l'alimentation se fait sous très basse tension fournie par un transformateur de sécurité. On rappelle qu'il comporte alors un écran métallique relié à la terre entre primaire et secondaire et que la tension secondaire est inférieure à la tension limite de sécurité¹ UL qui vaut 50 V. De plus l'ensemble du circuit alimenté en TBTS doit présenter une isolation de classe 2 par rapport à l'extérieur.

1.2.2 Matériel de classe II.

Ce matériel double isolation ne doit jamais être relié à la terre, on considère que la double isolation suffit à assurer la sécurité des personnes sans coupure automatique de l'alimentation.

1.3 Schémas de liaisons à la terre en basse tension.

1.3.1 Petit historique.

Dans les années 20/30, le nombre d'accident étant de plus en plus élevé il est décidé le 4 août 1935 de raccorder à la terre toutes les masses accessibles d'une installation. En cas de défaut d'isolement sur une phase par exemple la masse en défaut reste au même potentiel que la terre. La tension de contact est donc quasiment nulle et sans danger.

Dans un second temps (le 14 novembre 1962 !), on impose de contrôler en permanence l'isolement d'une installation afin d'améliorer l'efficacité de la décision de 1935.

Depuis, c'est la norme NFC 15-100 (Chap. 41 et suivants), sans cesse remaniée et améliorée, qui définit les règles de sécurité dans les installations du domaine de la basse tension.

1.3.2 Principes fondamentaux. (§411-1)

la protection contre les contacts indirects est assurée par : des liaisons de protection associées à la coupure automatique de l'alimentation conformément aux §411.3 à §411.6.

Il en résulte que cette mesure de protection repose sur l'association de deux conditions :

a) la réalisation ou l'existence d'un circuit - dénommé "boucle de défaut" - pour permettre la circulation du courant de défaut. La constitution de cette boucle de défaut dépend du schéma des liaisons à la terre (TN, TT ou IT). Cette condition implique la mise en œuvre de conducteurs de protection reliant les masses de tous les matériels électriques alimentés par l'installation de façon à constituer une boucle de défaut.

¹ Aussi appelée tension limite conventionnelle de contact § 234-4.

b) la coupure du courant de défaut par un dispositif de protection approprié dans un temps dépendant de certains paramètres tels que la tension de contact à laquelle peut être soumise une personne, la probabilité de défauts et de contacts avec les parties en défaut. La détermination du temps de coupure est basée sur la connaissance des effets du courant électrique sur le corps humain et des conditions d'influences externes. Cette condition implique la présence d'un dispositif de coupure automatique dont les caractéristiques sont définies suivant le schéma des liaisons à la terre TT, TN ou IT.

(§ 411-3-2-2)²

Temps de coupure (s)	50 V < U ₀ ≤ 120 V		120 V < U ₀ ≤ 230 V		230 V < U ₀ ≤ 400 V		U ₀ > 400 V	
	alternatif	continu	alternatif	continu	alternatif	continu	Alternatif	continu
Schéma TN ou IT	0,8	5	0,4	5	0,2	0,4	0,1	0,1
Schéma TT	0,3	5	0,2	0,4	0,07	0,2	0,04	0,1

1.3.3 Définition. (§312-2)

Les schémas de liaisons à la terre sont définis en basse tension par deux lettres indiquant les situations du neutre du poste de transformation et des masses de l'installation. Les exemples de ces schémas (TT, TN et IT) sont donnés par la suite. Le schéma conditionne la boucle de défaut, le contrôle de l'isolement et donc les mesures de protection contre les contacts indirects.

1.3.4 Méthode.

Quel que soit le schéma de liaison à la terre retenu, il est vivement conseillé de suivre la démarche suivante :

Schéma structurel ou géographique,

↳ Parcours du courant de défaut, (concept de boucle de défaut)

↳ Schéma électrique équivalent simplifié,

↳ Choix d'un dispositif pour assurer $t_d < t_{max}$

1.4 Mise à la terre et PE. (§ 5-41).

(§ 131-2-2) : En liaison avec la protection contre les contacts indirects, l'utilisation de liaisons équipotentielles constitue un principe fondamental de sécurité.

Il faut être particulièrement attentif au vocabulaire employé : on différencie les termes suivants : terre ; prise de terre ; conducteur de protection ; liaison équipotentielle ; masse ...

(Voir en fin de document).

² Attention la tension appelée U₀ dans ce tableau est la tension simple ...

2 Régime de neutre T-T. (§ 411-5)

Ce régime n'est pas le plus simple à comprendre mais c'est le plus connu en raison de son utilisation dans le domaine domestique et dans les installations alimentées directement à partir du réseau de distribution publique basse tension, c'est pourquoi nous commençons par celui-ci.

2.1 Principe de protection.

2.1.1 Définition (§312-2-2).

Comme son nom l'indique :

Le neutre du transformateur d'alimentation est relié à la terre par une prise de terre de valeur R_a .
Les masses de l'installation sont reliées à la terre par une prise de terre différente R_A .

Le schéma de principe est le suivant :

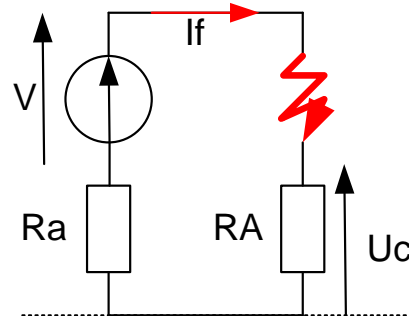
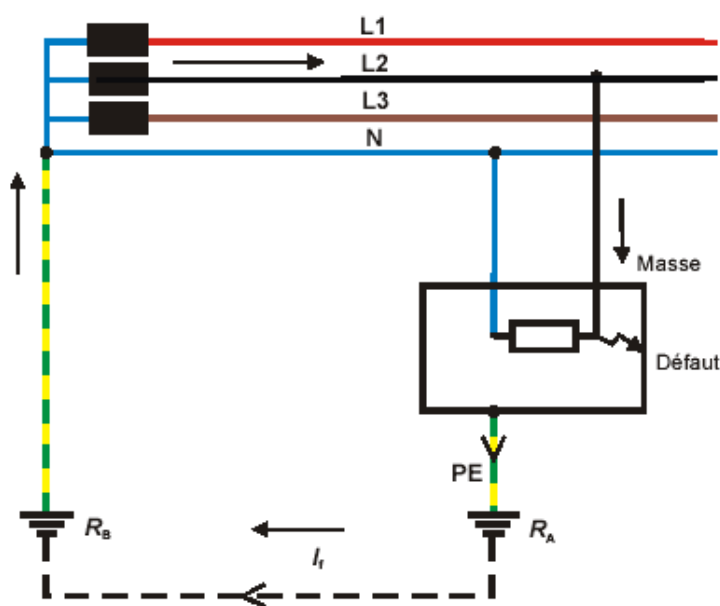


Figure 411B – Boucle de défaut en schéma TT

2.1.2 Analyse d'un défaut.

Dès qu'un défaut d'isolement apparaît entre une phase et une masse, **reliée au conducteur de protection**, il entraîne la circulation d'un courant de défaut I_f entre phase et neutre uniquement limité par les résistances des prises de terre R_A et R_a .

Ce courant I_f est généralement faible en raison des valeurs des prises de terre (quelques ohms).

Il apparaît alors entre la masse en défaut et la terre une tension qui vaut :

$$U_c = R_A \cdot I_f$$

Si on veut assurer la protection des personnes il faut limiter cette tension à une valeur inférieure à U_L ou respecter le temps du tableau (§ 411-3-2-2)

Conclusion : en 230 V classique, il faut un dispositif tel que :

I déclenchement < $50/R_A$)	} Dispositif différentiel ! (§411-5-2)
)	
T déclenchement < 200 ms)	

2.1.3 Remarque.

Deux problèmes classiques peuvent se poser :

déterminer une sensibilité de DDR connaissant la valeur de la prise de terre,

(utilisation de $I\Delta n < 50 / RA$.) (§ 411-5-3)

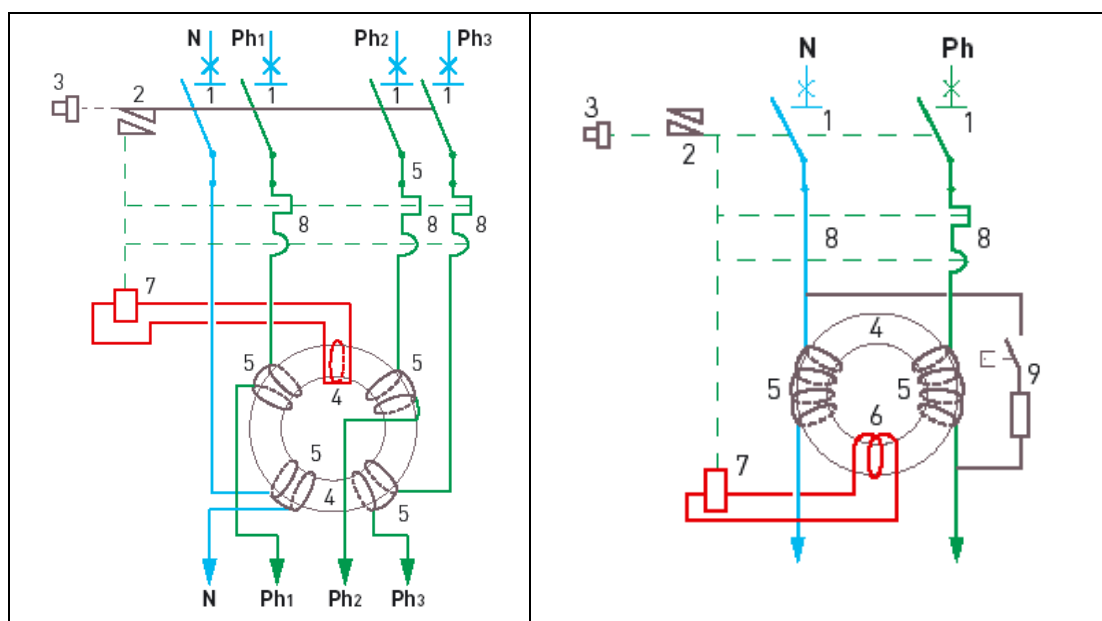
vérifier qu'un dispositif de mise à la terre assure effectivement la protection des personnes.

(utilisation de $RA < 50 / I\Delta n$).

Le premier problème appartient à la phase de conception d'une installation alors que le deuxième appartient à la phase de maintenance préventive ou d'entretien.

2.2 Dispositif à courant Différentiel Résiduel. (§531-2)

2.2.1 Principe et constitution.

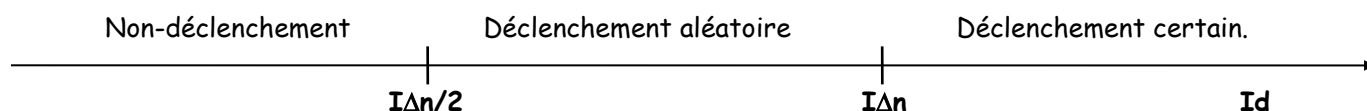


Le transformateur de courant, type tore magnétique, enserme les trois conducteurs de phase ainsi que le neutre. En fonctionnement normal, la somme vectorielle des courants est nulle.

A l'apparition d'un défaut il apparaît un courant secondaire proportionnel à la différence des courants entrant et sortant c'est à dire au courant de défaut. Un dispositif externe à seuil de courant contrôle en permanence le courant secondaire et donne l'ordre de déclenchement à l'appareil de coupure.

Le seuil de réglage, appelé **sensibilité** est noté : $I\Delta n$.

On parle de **plage de fonctionnement** pour définir la zone de déclenchement d'un DDR : (§531-2-1-3)



2.2.2 Aptitude aux fonctionnements « continus ». (§531-2-1-5)

De nombreux récepteurs comportent des alimentations à découpage ou des redresseurs. Lorsqu'un défaut d'isolement se produit sur la partie continue, le courant de fuite peut comporter une composante continue qui peut, selon son importance, provoquer l'aveuglement des dispositifs de protection différentiels.

La NFC 15-100 a classé les dispositifs différentiels en 3 types selon leur aptitude à fonctionner en présence d'une composante continue :

classe AC :		différentiel sensible au seul courant résiduel alternatif
classe A :		différentiel sensible au courant résiduel alternatif, et au courant résiduel pulsé
classe B :		différentiel sensible au courant résiduel alternatif, au courant résiduel pulsé et au courant de défaut continu pur.

Remarque : Il devient donc important de se poser la question de la possibilité d'apparition de défaut « non sinusoïdal » ... Voir les exemple ci-dessous :

Types :	I en fonctionnement normal	I défaut :	Classe de DDR :
<p>Gradateur à contrôle de phase</p>			AC ou A ou B
<p>Montage en pont double-alternance</p>			A ou B
<p>Montage mono-alternance dont la charge comporte une f.e.m.</p>			B

2.2.3 Immunité et CEM. (§531-2-1-4)

Il ne faut pas confondre les classes précédentes avec l'immunité renforcée, (le constructeur Hager parle de dispositifs Haute Immunité), qui consiste à être imperméable aux parasites de très courte durée non dangereux mais qui entraîneraient un déclenchement potentiellement nuisible pour le processus à protéger. Les exemples couramment cités sont la micro-informatique et les congélateurs !!

2.2.4 Choix.

Pour assurer la sécurité des personnes, il suffit de couper l'alimentation dès que la tension de contact devient supérieure à 50 V donc la sécurité est assurée si $U_c = R_A \cdot I_f < 50$, ou $I_f < 50 / R_A$.

On choisit donc la sensibilité d'un DDR de manière à ce que :

$$I \Delta n < 50 / R_A \text{ (§ 411-5-3)}$$

Avec R_A la résistance de la prise de terre de l'installation ...

(§531-2-4-2-2)

	COURANT DIFFÉRENTIEL-RÉSIDUEL MAXIMAL ASSIGNÉ DU DDR ($I_{\Delta n}$)	VALEUR MAXIMALE DE LA RÉSISTANCE DE LA PRISE DE TERRE DES MASSES (ohms)
Basse sensibilité	20 A 10 A 5 A 3 A	2,5 5 10 17
Moyenne sensibilité	1 A 500 mA 300 mA 100 mA	50 100 167 500
Haute sensibilité	$\leq 30 \text{ mA}$	> 500

2.3 Mise en oeuvre.

Les problèmes de mise en oeuvre ne doivent pas être négligés puisque de leur "solutionnement" dépend l'efficacité de la protection des personnes.

2.3.1 Emplacement. (§531-2-4-2-1)

Pour toute une installation, la norme impose au minimum un DDR correctement calibré en tête. L'inconvénient majeur qui en résulte est l'absence de continuité de service (pour l'installation globale) en cas de défaut sur un départ. Il faut alors ajouter des DDR supplémentaires sur chacun des départs³.

On peut adapter la règle ci-dessus et supprimer le DDR de tête si :

ceux des différents départs (équipés de DDR) se trouvent tous dans une même armoire, la liaison entre le disjoncteur de tête et les départs en aval (équipés de DDR) est de classe II.

On réalise ainsi ce qu'on appelle la **sélectivité horizontale** (§535-4-2).

2.3.2 Remarque : absence de PE.

Si le conducteur de protection PE vient à être endommagé ou même supprimé, il n'y a pas de surveillance préventive possible puisqu'un défaut d'isolement n'entraîne plus l'écoulement à la terre d'un courant de défaut. C'est la personne victime du contact indirect qui jouera le rôle du PE en étant traversé par le courant de défaut !!! Il est alors possible de protéger cette personne en installant un dispositif « **haute sensibilité** » (HS) c'est à dire tel que $I_{\Delta n} < 30 \text{ mA}$ puisque le passage de 30 mA pendant un temps très court à travers le corps humain ne présente pas de danger.

Ces dispositifs HS sont recommandés dans :

les circuits de prise de courant $I_e < 32 \text{ A}$,
les locaux mouillés quel que soit le courant assigné d'emplois,
les installations temporaires, chantier notamment.

2.3.3 Sélectivité. (§535-4-3)

On a vu que la sélectivité horizontale était réalisée par l'installation d'un DDR correctement calibré sur chaque départ.

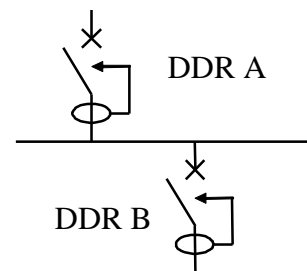
Le problème de la sélectivité verticale dépend, lui des sensibilités de

³ (voir plus loin les problèmes de sélectivité).

chacun des DDR considérés :

le DDR A est de sensibilité $I\Delta n_A$,
le DDR B est de sensibilité $I\Delta n_B$,

Les deux déclenchent sûrement au-dessus de leur sensibilité, et ne déclenchent pas en dessous de la moitié, il faut donc que : $I\Delta n_B < I\Delta n_A/2$



La NFC 15-100 considère que la sélectivité totale est assurée si les sensibilités sont dans un rapport 3 et que le dispositif amont est retardé ou « sélectif » :

$I\Delta n_B < I\Delta n_A/3$ et retard sur DDRA => sélectivité totale

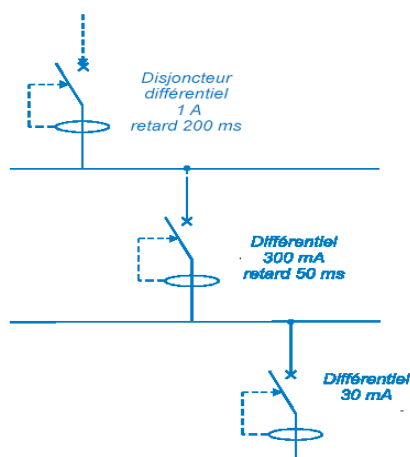


Figure 535F

Voici l'exemple proposé par la norme pour illustrer la possibilité de sélectivité totale à trois niveaux.

On peut remarquer que le rapport de 3 entre les différentes sensibilités est respecté d'une part et que la sélectivité chronologique est assurée par les retards introduits 50 ms et 200 ms.

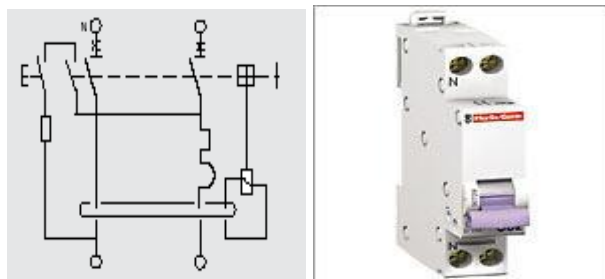
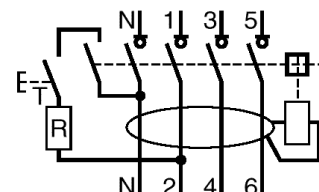
Ce dernier retard n'est possible que dans le cas du régime TT avec une tension simple d'alimentation de 230 V maxi si on veut respecter les temps du tableau (S [411-3-2-2](#)).

2.4 Technologie.

2.4.1 Dispositif modulaire ou intégré.

Sous forme modulaire ils remplissent plusieurs fonctions dont la détection différentielle.

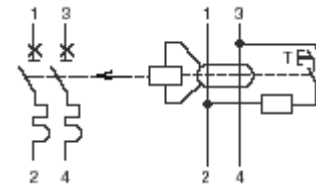
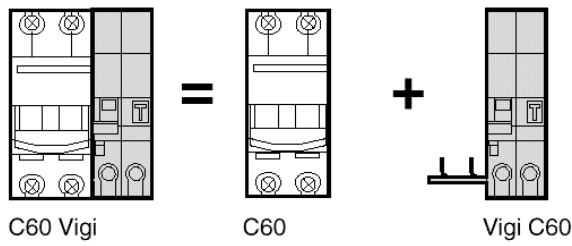
Les **interrupteurs différentiels** réalisent la commande manuelle, la protection des personnes (30 mA) et des installations (300 mA) ils ont généralement une sensibilité fixe.



Les **disjoncteurs différentiels** assurent eux la protection des personnes (30 mA), des installations (300 mA) mais aussi la protection contre les surcharges et les courts-circuits grâce à leur dispositif magnétothermique interne.

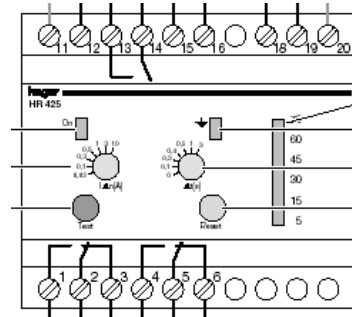
2.4.2 Bloc différentiel additif.

Sous forme de bloc additif il faut les **associer à un organe de coupure automatique**, généralement un disjoncteur magnétothermique. Ils intègrent dans un seul boîtier le tore de détection et le relais différentiel. Comme précédemment les sensibilités sont fixes.



2.4.3 Relais différentiel à tore séparé.

Il s'agit de composants évolués qui intègrent plusieurs fonctions :
 pré alarme : souvent $I\Delta n/2$,
 temporisation réglable,
 contact inverseur de signalisation,
 signalisation lumineuse, etc ...
 (Voir documentation spécifique)



(S531-2-1-2)

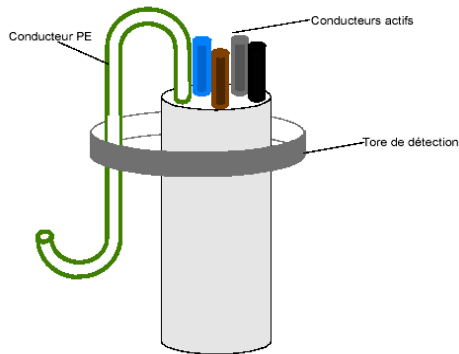


Figure 531A – Cas du double passage du PE

dans les cas où il est difficile de séparer le conducteur de protection des conducteurs actifs, câble de type 4G25 par exemple ou 5G10 comme ci contre il est autorisé de mettre en œuvre la solution présentée ci contre appelée méthode du double passage.

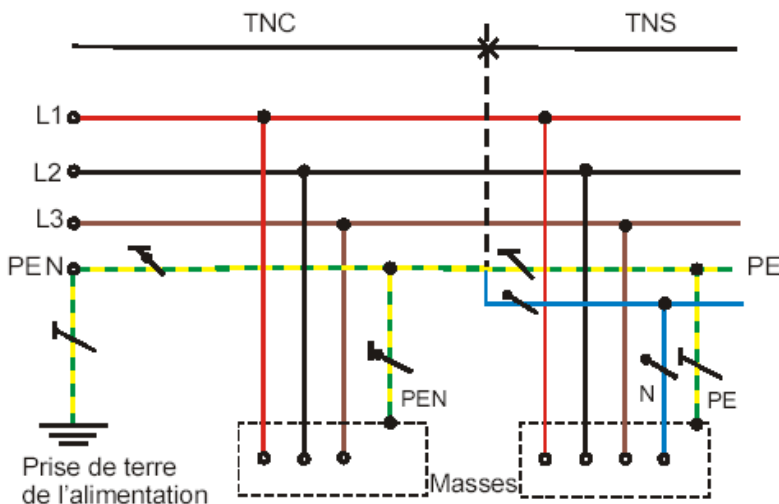
3 Régime de mise au neutre. (T-N). (§ 411-4)

Ce régime est le régime industriel par excellence en raison de sa simplicité. Il est très répandu dans les pays anglo-saxons. C'est le premier traité dans la norme ...

3.1 Principe de protection.

3.1.1 Description. (§ 411-4-1)

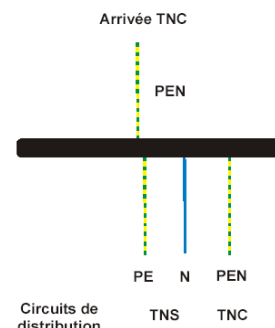
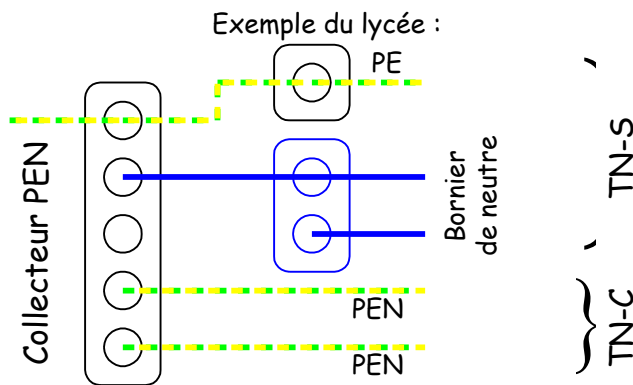
Comme précédemment le neutre du transformateur HT/BT est relié directement à la terre, mais les masses métalliques de l'installation sont reliées au point neutre par les conducteurs de protection PE (on parle de régime TN-S) ou PEN lorsque le neutre et le PE ne font qu'un (il s'agit alors du régime TN-C).



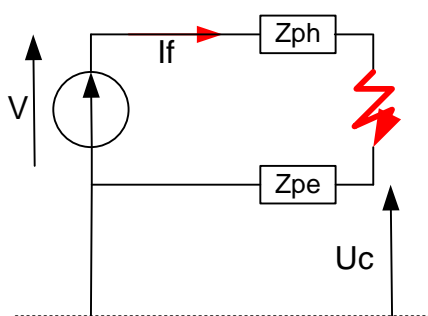
Le schéma ci-contre, issu de la norme (§312-2-1) illustre la succession des deux types de schéma TN.

Il est interdit de relier les conducteurs neutre et PE en aval d'un régime TN-S.

Ce qui signifie qu'une fois séparés, neutre et PE ne peuvent être re raccordés ensemble ...



3.1.2 Analyse d'un défaut. (§ 411-4-3)



Dès qu'un défaut d'isolement apparaît entre une phase et la masse, celui-ci n'est limité que par l'impédance des conducteurs de la phase concernée Z_{ph} et celle du conducteur de protection Z_{pe} .

Il devient un défaut phase/neutre c'est à dire un court-circuit I_{k1} ou I_{k0} .

Ce défaut entraîne une tension de contact voisine de la moitié de la tension d'alimentation simple.

Cette tension est, de toute façon, **dangereuse**, il faut donc éliminer le défaut dans un temps compatible avec le tableau de sécurité (§ 411-3-2-2) c'est à dire inférieur à quelques 400 ms classiquement. Si on appelle I_a le courant de déclenchement dans un temps compatible,

$$C'est-à-dire tel que $I_a < I_{k1} = \frac{V_o}{Z_s}$ avec : V_o la tension simple du réseau concerné,
 $Z_s = Z_{(ph+pe)}$ l'impédance de la boucle de défaut
 (à déterminer)$$

3.1.3 Détermination du courant de défaut I_{k1} ⁴.

Plusieurs méthodes sont disponibles pour déterminer I_{k1} et donc pouvoir choisir I_a . Dans la suite du document, on ne développe que la méthode conventionnelle⁵.

Cette méthode fait les hypothèses suivantes :

- les différents conducteurs suivent le même parcours, (longueur Ph = longueur PE)
- les réactances sont négligées en dessous de 150 mm², (Z_s devient donc R_s)
- la source chute de 20 % lors du défaut (elle n'est donc pas modélisée !!),

$$I_f = \frac{0,8 * V_o}{\rho * L * \left(\frac{1}{S_{ph}} + \frac{1}{S_{pe}}\right)} \quad \text{ou} \quad I_f = \frac{0,8 * V_o}{\rho * L * \frac{2}{S_{ph}}} \quad \text{si } S_{ph} = S_{pe}$$

3.1.4 Conclusions.

En régime de **mise au neutre**, un **défaut d'isolement** se traduit par un **court-circuit** et entraîne à chaque fois une tension de contact dangereuse ! Il est donc impératif d'éliminer le défaut par coupure automatique de l'alimentation et ceci dans un délai compatible avec le tableau de sécurité c'est à dire en quelques dizaines de millisecondes.

L'appareillage de protection contre les courts-circuits (fusible ou disjoncteur magnétique) est tout à fait indiqué pour réaliser la fonction ci-dessus pour peu qu'il détecte efficacement le courant de défaut : c'est à dire qu'il déclenche assez rapidement.

Deux problèmes classiques se posent alors :

déterminer un dispositif de protection (choix d'un seuil de déclenchement instantané),

vérifier qu'un dispositif existant assure effectivement la protection des personnes.

3.2 Mise en oeuvre classique (disjoncteur).

3.2.1 Détermination de la protection.

Le problème consiste donc à déterminer le seuil de déclenchement magnétique (instantané) d'un disjoncteur de manière à ce que celui-ci permette d'éliminer le défaut. Il faut donc réaliser la condition suivante :

$$I_m = I_a < \frac{V_o}{Z_s} = \frac{0,8 * V_o}{\rho * L * \frac{2}{S_{ph}}}$$

⁴ Pour le calcul des courants de court-circuit, il faut se référer au guide UTE 15-105 (§ 434-1).

⁵ Pour les autres méthodes, se reporter au chapitre 9.

Ce problème suppose qu'on connaisse précisément la longueur de la boucle et qu'on puisse considérer son impédance résistive (voir plus haut) ... Dans les cas contraires, on mesure l'impédance de boucle (voir en annexe) et on en déduit le seuil de déclenchement magnétique :

$$I_m = I_a < \frac{V_o}{Z_s}$$

3.2.2 Remarques.

Solution pour les circuits de prises de courant (longueur inconnue).

Le cas des circuits de prises de courant est directement lié au précédent puisque ce type de circuit est forcément de longueur incertaine (il est impossible d'interdire l'installation de rallonge par exemple) et il englobe le cas des circuits mobiles ou non fixes (canalis).

Seule l'installation d'un DDR haute sensibilité ($I_{\Delta n} < 30 \text{ mA}$) est efficace : il faut alors séparer le neutre du conducteur de protection => régime TN-S !

Locaux spécifiques. (§ 531-2-3-3)

Lorsque les locaux sont à risques d'explosions (§ 424-10) ou d'incendie (§ 422-1-7), il est imposé de limiter les courants de court-circuit en insérant des DDR en guise de protection contre les contacts indirects.

3.2.3 Vérification théorique de la protection.

Cette fois ci le problème consiste à déterminer la longueur maximale de câble L_{max} qu'un dispositif de déclenchement magnétique protège efficacement.

$$L_{max} < \frac{0,8 * V_o}{\rho * I_a * \frac{2}{S_{ph}}}$$

Cette longueur peut être déterminée au [moyen de tableaux comme ceux figurant en annexe](#) et qui synthétisent les résultats des calculs ci-dessus dans des tableaux donnant la longueur maximale de câble protégée par un déclencheur magnétique donné en fonction

de la nature du conducteur (Cu ou Al),
de la section de la phase et
du rapport des sections : $m = S_{ph} / S_{pe}$.

Exemple 1 : un disjoncteur dont le courant de déclenchement magnétique est réglé à 1250 A protège un câble «3*1*120+1*120» en cuivre.

D'après le premier tableau en annexe, la longueur protégée vaut :

$$L = 320 \text{ m.}$$

Le même câble en aluminium est lui protégé sur une longueur valant seulement :

$$L = 320 * 0,62 = 198 \text{ m.}$$

Le câble en cuivre précédent présente une section de PEN réduite de moitié, la longueur protégée vaut maintenant :

$$L = 320 * 0,67 = 214 \text{ m.}$$

Enfin, si le câble est en aluminium et présente une section réduite de moitié alors la longueur protégée vaut :

$$L = 320 \cdot 0,42 = 134 \text{ m ...}$$

Exemple 2 : un disjoncteur de calibre 80 A et de courbe B protège une ligne de type « 4G25 » en cuivre donc et dont le PEN est de même section que les trois phases.

D'après le deuxième tableau, la longueur protégée vaut : $L = 250 \text{ m}$

Les résultats trouvés dans les tableaux peuvent différer légèrement de ceux donnés par les formules précédentes car ils tiennent compte de :

la chaleur : (facteur 1,25 pour la résistivité),
l'effet inductif si la section des conducteurs devient trop importante,
la connaissance imprécise du seuil de déclenchement magnétique (+ 20 %).

3.2.4 Remèdes.

Lorsque les longueurs dépassent celle autorisée par le déclencheur magnétique, il faut :

soit augmenter le courant de défaut I_f ,
soit diminuer le courant de déclenchement magnétique I_m ,

ce qui donne les solutions suivantes :

augmentation des sections $S_{ph} + S_{pe}$ ou S_{pe} seul,
réalisation d'une liaison équipotentielle supplémentaire (qui diminue donc Z_{pe}),
changement de disjoncteur ou réglage de I_m à une valeur plus faible (attention à la sélectivité !),
installation d'un DDR comme décrit auparavant.

3.2.5 Autres moyens.

Il est possible d'assurer la protection des personnes en régime de mise au neutre en utilisant des fusibles pour détecter le défaut et couper l'alimentation. Pour cela on procède comme suit :

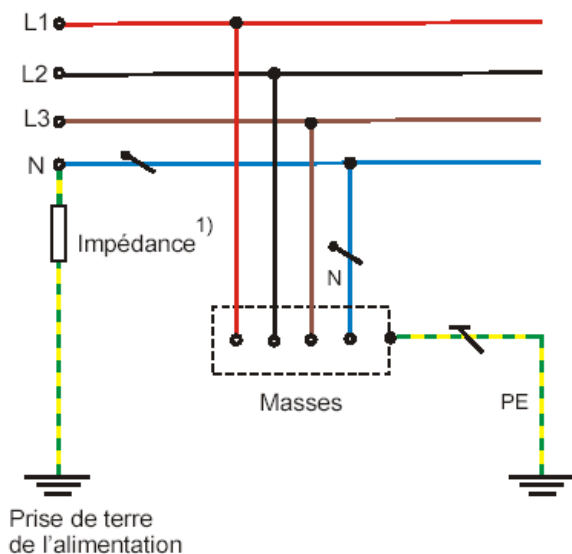
on détermine le courant I_f grâce aux caractéristiques des conducteurs,
on choisit le calibre et la courbe d'un fusible **de manière à éliminer I_f en moins de t_{cmax}** .

Inversement, connaissant la courbe de fusion d'un dispositif à fusible, il est possible de déterminer le courant qui entraîne un temps de fusion t_{fu} compatible avec t_{cmax} . Avec ce courant on détermine alors la longueur de câble protégée.

4 Régime de neutre impédant (ou isolé). (§ 411-6)

4.1 Principe de protection.

4.1.1 Description. (§312-2-3).



Dans ce type de schéma⁶, le neutre du transformateur d'alimentation est isolé de la terre ou relié à celle-ci par une impédance élevée ...

Les masses de l'installation sont elles reliées à la terre par l'intermédiaire d'un ou plusieurs conducteur de protection PE.

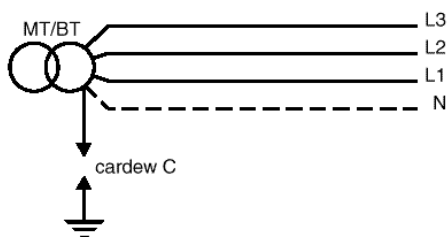
Il est possible de distribuer ou non le neutre on parle alors de régime ITAN (déconseillé) ou ITSN.

4.1.2 Problème des surtensions.

Il s'agit du premier régime où le neutre est isolé de la terre ce qui veut dire qu'une surtension (d'origine atmosphérique par exemple) risque de porter le potentiel du neutre à une valeur dangereuse pour les utilisateurs. Il y a donc nécessité de limiter les surtensions pouvant apparaître sur le réseau basse tension en amont du transformateur.

On utilise pour cela des limiteurs de surtension qui agissent comme des diodes zéner ou comme des varistances (résistances variant en fonction de la tension qui leur est appliquée).

Le choix de ces limiteurs dépend du constructeur, le critère principal étant bien entendu la valeur de la tension d'amorçage (voir l'étude des protections contre les surtensions).



4.2 Etude d'un défaut simple.

4.2.1 Hypothèses et calculs.

On a vu ci-dessus que le neutre de l'installation est :

- soit impédant (résistance neutre/terre installée connue),
- soit isolé. (résistance neutre/terre inconnue),

Dans ce dernier cas il faut alors tenir compte de deux paramètres souvent négligés :

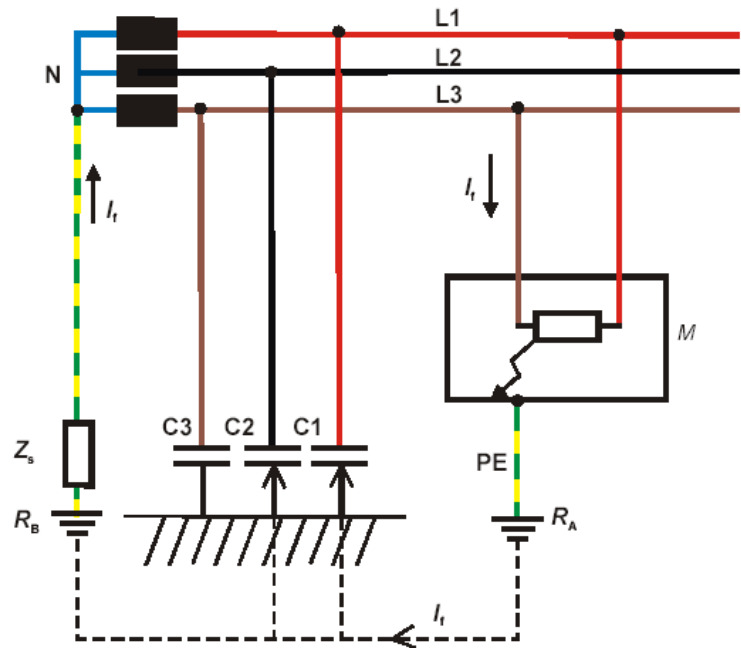
⁶ le plus ancien !

Le premier défaut d'isolement n'est jamais dangereux car le courant de défaut qui apparaît est très faible et entraîne donc une tension de contact très faible (de l'ordre du volt).

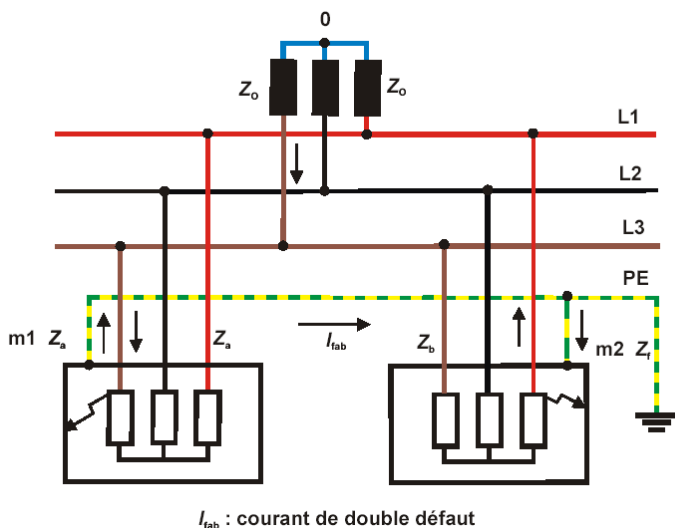
La condition à remplir est la suivante :

$$R_A \cdot I_f < 50 \text{ V (S411-6-2)}$$

Cela permet d'éviter la coupure au premier défaut et donc d'assurer la continuité de service, mais il faut chercher à localiser et éliminer ce défaut, avant qu'un deuxième ne survienne. (voir plus loin la mise en œuvre)



Le deuxième défaut (§ 411-6-4), en revanche, doit être éliminé dans un temps compatible avec le tableau de sécurité (§ 411-3-2-2) c'est à dire inférieur à quelques 400 ms classiquement.



Si les masses sont interconnectées les règles du régime TN s'appliquent :

$$I_a < \frac{V_o}{2 \cdot Z_s'}$$

si le neutre est distribué,

avec Z_s' constitué du conducteur de neutre et du conducteur PE.

$$I_a < \frac{U}{2 \cdot Z_s}$$

si le neutre n'est pas distribué.

avec Z_s constitué d'un conducteur de phase et du conducteur PE.

Si il existe plusieurs masses non interconnectées (prises de terre différentes) les règles du régime TT s'appliquent.

4.2.2 Conclusions.

On vient de voir qu'un défaut d'isolement n'est pas dangereux, il n'est donc pas nécessaire de l'éliminer. (Dans le cas d'un régime de neutre impédant il faut quand même vérifier que :

$$R_a < 50 / I_f$$

afin que la tension de contact reste inférieure à 50 V.

Ce problème suppose qu'on connaisse précisément la longueur de la boucle et qu'on puisse considérer son impédance résistive (voir plus haut) ... Dans les cas contraires, on mesure l'impédance de boucle (voir en annexe) et on en déduit le seuil de déclenchement magnétique :

$$I_a < \frac{V_o}{2 * Z_s'} \text{ si le neutre est distribué ou :}$$

$$I_a < \frac{U}{2 * Z_s} \text{ si le neutre n'est pas distribué.}$$

Pour vérifier théoriquement de la protection, il suffit de déterminer la longueur maximale de câble L_{max} qu'un dispositif de déclenchement magnétique protège efficacement, on applique la méthode conventionnelle :

$$L_{max} < \frac{0,8 * V_o}{2 * \rho * I_a * \frac{2}{S_{ph}}} \text{ (ITAN) ou } L_{max} < \frac{0,8 * U}{2 * \rho * I_a * \frac{2}{S_{ph}}} \text{ (ITSN)}$$

4.3 Mise en oeuvre.

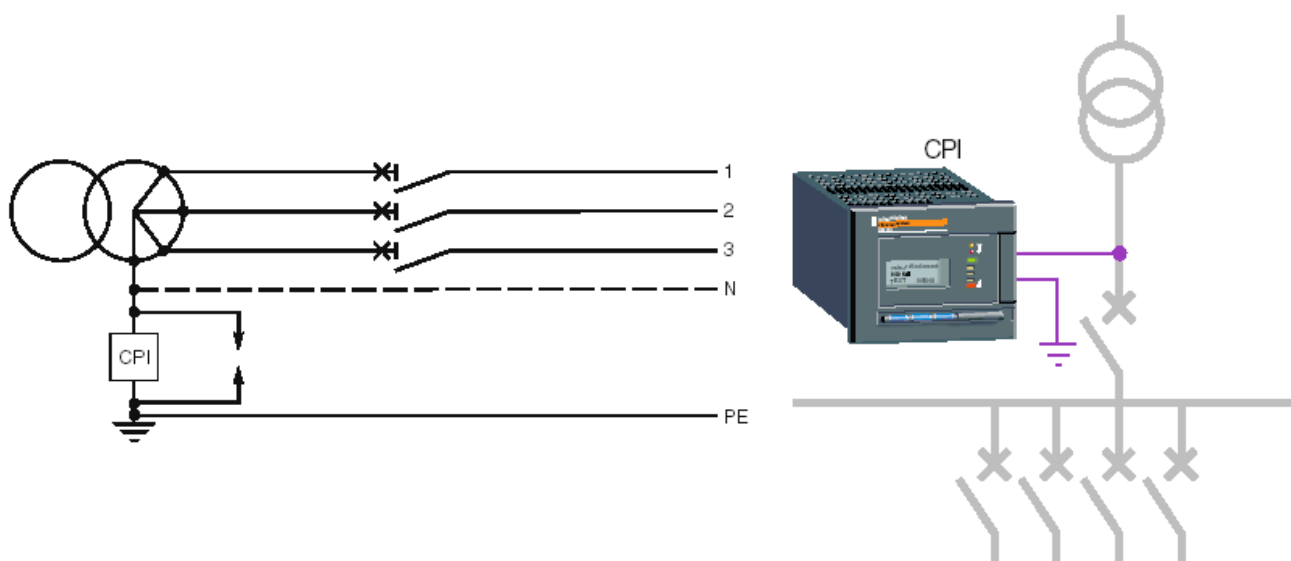
Le seul intérêt du régime de neutre isolé est qu'il « prévient » de l'apparition d'un défaut dangereux ! Encore faut-il **détecter et signaler** le premier défaut afin de pouvoir le **localiser (et l'éliminer)** avant qu'un deuxième apparaisse. La norme précise : (§ 411-6-5)

« Les dispositifs de contrôle et de protection suivants peuvent être utilisés :

- contrôleurs permanents d'isolement ;
- dispositifs de recherche de défaut ;
- dispositifs de protection contre les surintensités ;
- dispositifs de protection à courant différentiel-résiduel. »

4.3.1 Signalisation. (§ 532-4)

Plusieurs procédés sont utilisés, les principaux sont fondés sur l'injection entre le réseau (neutre) et la terre d'un courant continu ou alternatif de très basse fréquence. L'appareil qui réalise cette injection est un **contrôleur permanent d'isolement** : **CPI**. En mesurant alors la tension entre le neutre et la terre il peut déduire l'impédance d'isolement et avec un seuil correctement choisi indiquer lorsque cet isolement est insuffisant.



Contrôle :

Injection de tension alternative de fréquence 2,5 Hz entre la terre et le réseau.

Mesure de l'isolement à partir du courant injecté. XM200 effectue une mesure de la résistance d'isolement globale du réseau et de sa capacité par rapport à la terre.

Deux seuils déterminés par l'utilisateur : un seuil de prévention Sp et un seuil de défaut Sd.

Signalisation du défaut fugitif par un voyant et mémorisation de sa valeur.

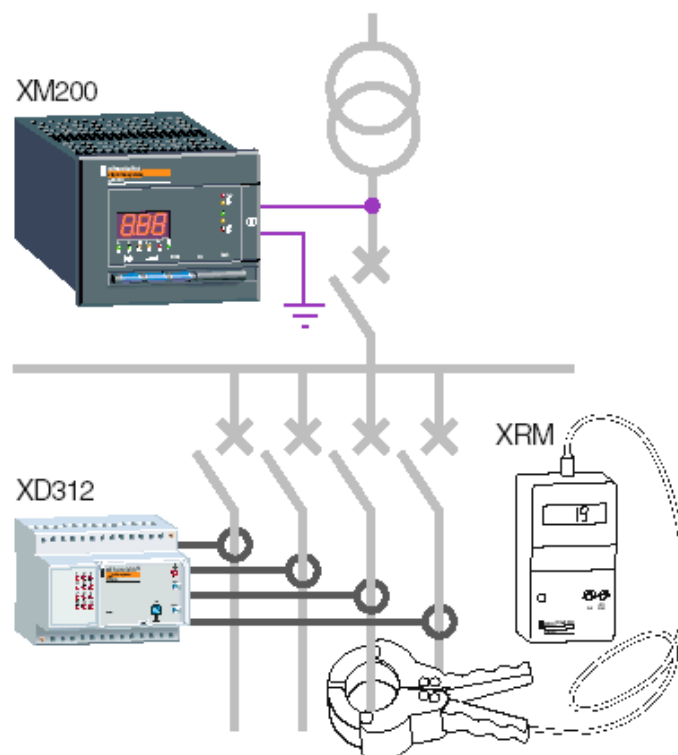
Le clavier de dialogue permet :

l'introduction des seuils,

l'affichage de la capacité de couplage à la terre,

4.3.2 Localisation

Le CPI ayant détecté un défaut sur le réseau il faut alors localiser celui-ci précisément de manière à pouvoir intervenir sur le départ concerné sans perturber les autres. On utilise alors des pinces ampère métriques accordées sur la fréquence du courant injecté par le CPI (ou à l'aide d'un générateur annexe).



Description du fonctionnement :

La recherche automatique :

Elle consiste à détecter les défauts permanents ou fugitifs et à localiser le départ défaillant sans intervention humaine.

Le détecteur XD312 détecte et localise le défaut, ce dispositif de recherche signale si les défauts détectés sont fugitifs ou permanents. Des tores, associées à l'appareil, sont placés sur les départs (jusqu'à 12). Ils captent le signal BF de recherche émis par le CPI.

La recherche manuelle :

Elle s'effectue avec le récepteur mobile Vigilohm System XRM. Celui-ci est associé à sa pince ampère-métrique et capte le signal BF de recherche émis par le CPI Vigilohm System.

La recherche manuelle complète et affine la recherche automatique.

La pince ampère-métrique est déplacée le long du départ défaillant pour trouver l'endroit exact du défaut.

5 Annexes.

5.1 Synthèse.

Cette synthèse est sommaire et suppose bien assimilées toutes les notions vues auparavant.

Schéma de liaison à la terre :	Exploitation	Protection	Caractéristiques
T-T	Coupure au premier défaut Test périodique des DDR	Dispositif différentiel (Au moins un en tête d'installation)	Défaut Id faible Simplicité de mise en oeuvre et d'exploitation
Mise au neutre	Coupure au premier défaut Modification = vérification	Disjoncteur ou fusible	Economique mais Défaut = CC !!! Risque d'incendie
Neutre isolé ou impédant	Signalisation du premier défaut Elimination Coupure au deuxième défaut	(Dispositif différentiel) ou Disjoncteur ou fusible	Continuité de service Personnel qualifié Cher !!!

ATTENTION
Pour chaque régime,
le raccordement des masses métalliques au PE est
obligatoire et indispensable
à la surveillance de l'isolement d'une installation.
!!!

5.2 Choix d'un régime de neutre.

Le choix d'un régime de neutre est un problème qui dépasse, et largement, le cadre de ce cours il est bon cependant de retenir certains points.

5.2.1 Impératifs.

Le régime de neutre est parfois imposé par la législation (décrets, arrêtés ministériels etc ...) comme présenté ci-dessous :

Les circuits de sécurité (éclairage) doivent être alimentés en régime IT. (arrêté ministériel du 10/11/76)

Les bâtiments alimentés par un réseau de distribution publique sont eux en TT. (13/02/70).

Etc ...

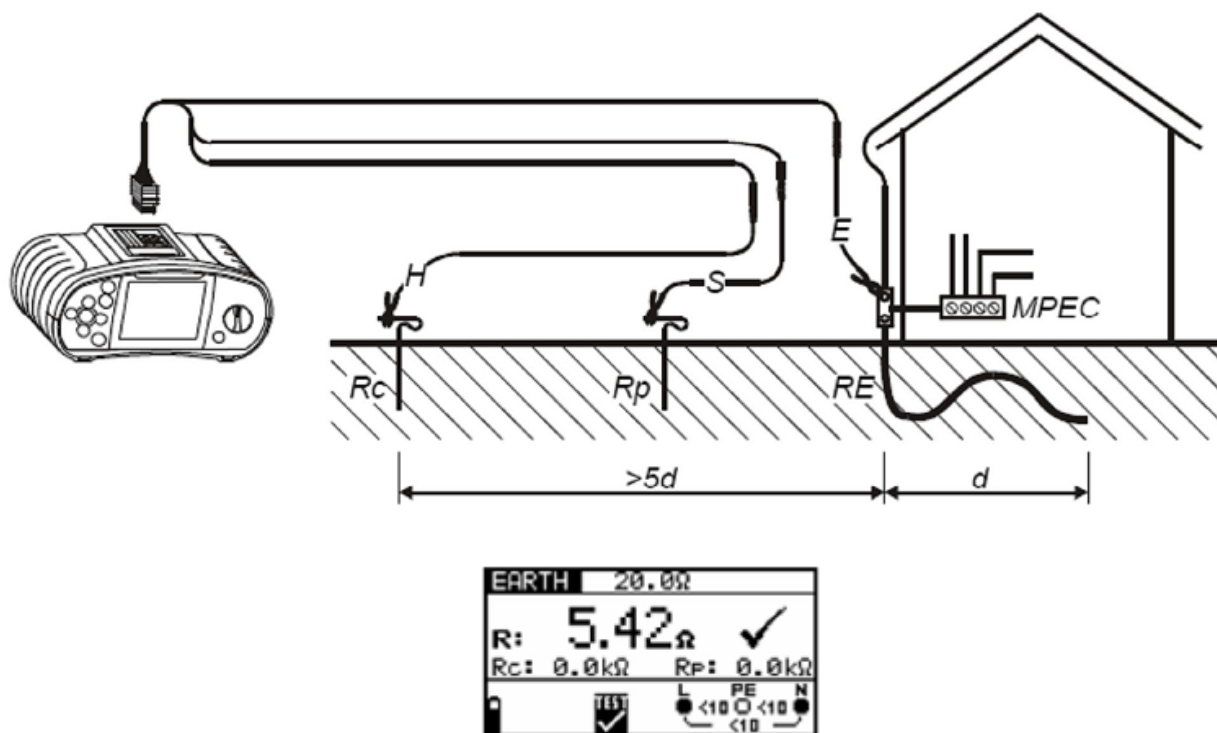
5.2.2 Services

Dans les cas où la législation ne se prononce pas ou laisse une relative marge de manœuvre, c'est la continuité de service ainsi que les contraintes d'exploitation (service entretien) qui permettent d'effectuer un choix.

5.3 Contrôle des prises de terre.

5.3.1 Mesure dite « des 3 piquets ».

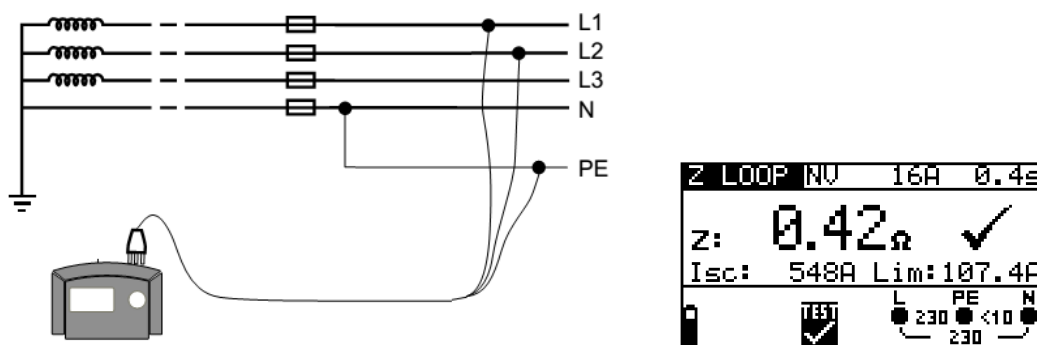
La norme NFC 15-100 propose une procédure de mesure d'une prise de terre qui est mise en œuvre dans certains contrôleurs de la manière suivante :



5.3.2 Evaluation de la boucle.

La méthode précédente est lourde à mettre en œuvre on lui préfère très souvent une méthode plus simple dite d'évaluation de la boucle. Cette méthode consiste à mesurer la valeur de la boucle de défaut, on considère alors qu'on obtient une valeur par excès de la résistance de la prise de terre.

Il s'agit d'une méthode volt-ampèremétrique⁷, après avoir injecté un courant dans la boucle à contrôler, l'appareil mesure différentes tensions et en déduit l'impédance qui se situe sur le parcours du courant.



⁷ Voir le cours de sciences appliquées ...

Ce qu'il faut savoir !!!

SLT	Remarque	Déclench.	Moyen	Condition	NFC 15-100
TT	Circuits fixes	1 ^{er} défaut	DDR	$I_{\Delta n} < 50/R_a$	411-5-3
	Circuits prises			30 mA	
TN	Circuits fixes		DPCC	$I_a < V_o/Z_s$	411-4-3
	Circuits prises		DDR	30 mA	
	Risque d'incendie			300 mA	
ITAN	1 prise de terre		2 ^{ème} défaut	DPCC	$I_a < V_o/(2*Z_s')$
	2 prises de terre	DDR		$I_{\Delta n} < 50/R_a$	411-6-4 b)
ITSN	1 prise de terre	DPCC		$I_a < U/(2*Z_s)$	411-6-4 a)
	2 prises de terre	DDR		$I_{\Delta n} < 50/R_a$	411-6-4 b)

Liens utiles ...

http://www.schneider-electric.com/cahier_technique/fr/resumes/SLT_BT.htm#

Ce lien va vers les cahiers techniques du constructeur Schneider ... Vous y trouverez notamment :

- N°114- Les dispositifs différentiels résiduels en BT,
- N° 172 - Les schémas des liaisons à la terre en BT,
- N° 173- Les schémas des liaisons à la terre dans le monde et évolutions,
- N° 178- Connaissances et emploi du SLT neutre isolé.

Bonne lecture !!!

Annexes : Longueurs maximales protégées :

Section nominale des conducteurs	Courant de réglage du fonctionnement instantané de disjoncteur I_m (A)																			
	mm ²	50	63	80	100	125	160	200	250	320	400	500	560	630	700	800	875	1000	1120	1250
1,5	100	79	63	50	40	31	25	20	16	13	10	9	8	7	6	6	5	4	4	4
2,5	167	133	104	83	67	52	42	33	26	21	17	15	13	12	10	10	8	7	7	7
4	267	212	167	133	107	83	67	53	42	33	27	24	21	19	17	15	13	12	11	11
6	400	317	250	200	160	125	100	80	63	50	40	36	32	29	25	23	20	18	16	16
10			417	333	267	208	167	133	104	83	67	60	53	48	42	38	33	30	27	27
16				427	333	267	213	167	133	107	95	85	76	67	61	53	48	43	43	43
25					417	333	260	208	167	149	132	119	104	95	83	74	67	67	67	67
35						467	365	292	233	208	185	167	146	133	117	104	93	93	93	93
50							495	396	317	283	251	226	198	181	158	141	127	127	127	127
70								417	370	333	292	267	233	208	187	187	187	187	187	187
95									452	396	362	317	283	263	263	263	263	263	263	263
120										457	400	357	320	320	320	320	320	320	320	320
150											435	388	348	348	348	348	348	348	348	348
185												459	411	411	411	411	411	411	411	411

Coefficient correcteur Cu/Al et $m = Sph/Sp_e$ ⁸

Circuit	Nature du conducteur	m = Sphase/SPE (ou PEN)			
		m = 1	m = 2	m = 3	m = 4
3P + N ou P + N	Cuivre	1	0,67	0,50	0,40
	Aluminium	0,62	0,42	0,31	0,25

Simplification Courbe B :

Sph	Courant assigné des disjoncteurs type B (A)															
mm ²	1	2	3	4	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
1,5	1200	600	400	300	200	120	75	60	48	37	30	24	19	15	12	10
2,5		1000	666	500	333	200	125	100	80	62	50	40	32	25	20	16
4			1066	800	533	320	200	160	128	100	80	64	51	40	32	26
6				1200	800	480	300	240	192	150	120	96	76	60	48	38
10					800	500	400	320	250	200	160	127	100	80	64	
16						800	640	512	400	320	256	203	160	128	102	
25							800	625	500	400	317	250	200	160		
35								875	700	560	444	350	280	224		
50									760	603	475	380	304			

Simplification Courbe D :

Sph	Courant assigné (A)															
mm ²	1	2	3	4	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
1,5	429	214	143	107	71	43	27	21	17	13	11	9	7	5	4	3
2,5	714	357	238	179	119	71	45	36	29	22	18	14	11	9	7	6
4		571	381	286	190	114	71	80	46	36	29	23	18	14	11	9
6			857	571	429	286	171	107	120	69	54	43	34	27	21	17
10				952	714	476	286	179	200	114	89	71	57	45	36	29
16					762	457	286	320	183	143	114	91	73	57	46	37
25						714	446	500	286	223	179	143	113	89	71	57
35							625	700	400	313	250	200	159	125	80	100
50								848	543	424	339	271	215	170	136	109

⁸ Il faut multiplier la longueur max trouvée initialement par le coefficient correcteur ...