GUIDE TECHNIQUE

PROTECTION ET CONTROLE□
Des Installations Electriques Industrielles à□
Basse Tension

INGÉNIERIE ET RÉALISATIONS ÉLECTRONIQUES & ÉLECTRIQUE
72, avenue de Louisville 34080 Montpellier - Tél. 0871 703 703 - Fax 0467 040 034 - www.irelec-techno.com

PLAN DU GUIDE TECHNIQUE

I. OBJET DU GUIDE 4

II. RAPPELS 5

A. DEFINITIONS. 5
1. Conducteurs 5
a) Conducteurs Actifs. 5
b) Conducteurs de Protection. 5
c) Conducteur PEN 5
2. Eléments de Terre. 5
a) Prises de Terre. 6
b) Résistances de Terre. 6
3. Différents Neutres (réseau BT alternatif). 7
a) Neutre Electrique. 7
b) Neutre Physique. 7
c) Neutre Artificiel. 7
4. Différentes Tensions. 7
a) Tensions Composées (entre phases). 7
b) Tensions Simples (phase-neutre) 7
c) Tension Phase-Terre 7
d) Tension Résiduelle et Tension Homopolaire 8
e) Tension Limite. 8
f) Tension de Contact. Tension de pas. 9
g) Tension de Sécurité (TBTS) 9
5. Schéma Général Applicable en BT. 10
B. ORDRES DE GRANDEUR DES DIFFERENTS INTERVENANTS. 11
1. Résistance Electrique du Corps Humain. 11
2. Impédances du Réseau. 11
a) Isolement Total 11
b) Terre. 11
c) Conducteurs de Liaison. 11
C. CALCULS DES COURANTS DE DEFAUT A LA TERRE (COURANT ALTERNATIF). 12
1. Méthode des Composantes Symétriques. 12
a) Monophasé à la Terre. 12
b) Biphasé à la Terre 12
2. Méthode Conventionnelle du Courant de la Boucle. 13
a) Monophasé à la Terre. 13
b) Biphasé à la Terre 14
3. Terminologie employée dans les 2 Méthodes. 14
D. OBJECTIFS DE LA NORME NFC 15100 (DANS LE CADRE DE LA PROTECTION DES PERSONNES) 15
1. Protection contre les dangers dus aux contacts directs. 16
2. Protection contre les dangers dus aux contacts indirects. 17

III. REGIMES DE NEUTRE. 18

A. CLASSIFICATION D'APRES LA NORME 18
B. DIFFERENTS REGIMES DE NEUTRE (LIAISON A LA TERRE) 18
1. Neutre Isolé "IT" 18
a) Description avec calculs 19
b) Obligations Légales 25
2. Neutre Impédant (Impédance de Limitation) "IT" 29
a) Description avec calculs 29
b) Obligations Légales 30
3. Neutre Direct à la Terre, Masses à la Terre "TT" 30
a) Description avec calculs 31
b) Obligations Légales 33
4. Neutre Direct à la Terre, Mise au Neutre des Masses "TN" 34

a) Description avec calculs 35
b) Obligations Légales 36

IV. RESEAU A COURANT CONTINU ISOLE 37

A. DESCRIPTION AVEC CALCULS 37
B. OBLIGATIONS LEGALES "DANS L'ESPRIT DE LA NORME" 39

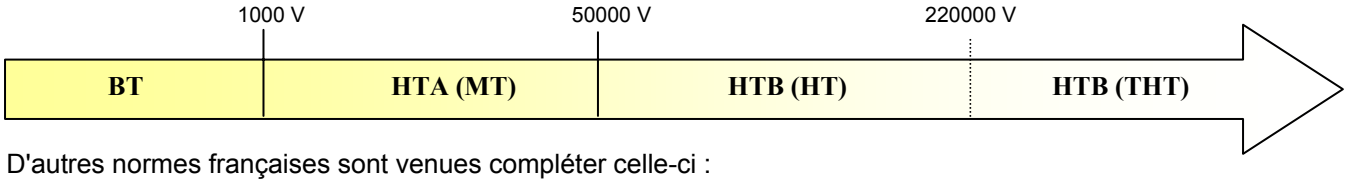
V. PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT DES DISPOSITIFS DE PROTECTION 40

A. MESURE DE LA TENSION DE CONTACT 40
B. CONTROLEUR PERMANENT D'ISOLEMENT 40
1. Baisse d'Isolement 43
2. Détection de Tension Négative 43
C. LOCALISATION (RECHERCHE DE DEFAUT) 43
1. Courant à Fréquence Industrielle 43
2. Coupure d'Alimentation 43
3. Injection Basse Fréquence 44
D. DISPOSITIFS DIFFERENTIELS A COURANT RESIDUEL 44
1. Capteur de courant résiduel 44
2. Relais 47
a) mesure ampèremétrique 47
E. PARASURTENSEUR 48
1. Rôle 48
2. Réalisation 49
F. SELECTIVITE DES PROTECTIONS 50
1. But 50
2. Réalisation 50
a) Chronologique 51
b) Relais Directionnel 51

I. Objet du guide

La sécurité des personnes a fait l'objet, sur le plan français de plusieurs décrets (dont les principaux sont du 4 août 1935 et 14 novembre 1962) et l'UTE a édité une norme d'installation Basse Tension (NF C 15-100) traitant des réseaux BT.
Les niveaux de tension sont définis par la norme UTE 18510. Est considéré comme Basse Tension (BT), toute tension :

- ≤ 1000 V en tension alternative
- ≤ 1500 V en tension continue



D'autres normes françaises sont venues compléter celle-ci :
NF C 15-211 sur les milieux hospitaliers, UTE C63-080 sur les contrôleurs permanents d'isolement. Le Comité 64 du Cenelec est chargé (en remplacement du Comité 100 du Cenelcom de 1965) de l'harmonisation des règles d'installation dans les pays du Marché commun et de la zone de libre échange (Documents d'Harmonisation du CENELEC de la série HD 384, correspondant à la norme C 15-100).

Sur le plan international différentes normes reprennent d'une manière équivalente les différents chapitres, il faut citer la norme CEI 364, la norme VDE 255 (Allemagne) sur les réseaux BT.
Le but du présent guide technique est de réunir les différents éléments ayant trait à la sécurité des personnes (notamment dans les entreprises mettant en œuvre l'énergie électrique).

Le présent guide n'a pas pour but de reprendre les chapitres de la norme, mais d'insister sur l'aspect protection des personnes contre les dangers que pourraient provoquer le courant électrique. Le législateur se plaçant plus sous l'aspect de cette protection, alors que la norme aborde différents chapitres comme les surcharges, court-circuits, pose de câbles etc.

Ainsi à titre d'exemple un défaut bi-phasé ne sera pas traité pour les conséquences qu'il pourrait avoir sur le matériel (échauffement par effet Joule), mais pour les dangers qu'il peut présenter pour les personnes (sur-tension des masses).

Conclusion :

Le présent guide n'a pas pour but d'effectuer des choix (par exemple choix du régime de neutre) mais d'insister sur l'aspect technique, une fois ce choix effectué, et ceci dans le cadre de la protection des personnes et de la continuité du service en respectant la sécurité, en cas de défaut d'isolement.

II. Rappels.

A. Définitions.

1. Conducteurs.

a) Conducteurs Actifs.

Tout conducteur normalement affecté à la transmission de l'énergie électrique; cette définition couvre les conducteurs de phase et le conducteur de neutre, en courant alternatif, les conducteurs positif et négatif et compensateur en courant continu.
La norme définit la section du conducteur neutre qui est la moitié de la section des conducteurs de phase (section normalisée la plus proche) avec un minimum de section de conducteur de neutre = section des phases lorsque celle-ci est inférieure à 25^2.
Le conducteur de neutre, comme tout conducteur actif doit être coupé pour l'élimination d'un défaut (excepté dans le schéma TN-C décrit ci-après, où le conducteur de neutre sert aussi comme conducteur de protection)

b) Conducteurs de Protection.

Tout conducteur non parcouru normalement par un courant électrique servant à la transmission de l'énergie, mais servant à établir l'équipotentialité d'un ensemble de masses.
Il est admis (pour les différents calculs) que ce conducteur chemine à côté des conducteurs actifs.
La norme définit sa section minimale qui est la moitié de la section des conducteurs de phase (section normalisée la plus proche) avec un minimum de section de conducteur de protection = section des phases lorsque celle-ci est inférieure à 16^2 et de 16^2 lorsque la section des conducteurs de phase est comprise entre 16^2 et 35^2. Le conducteur de protection ne doit pas être coupé pour l'élimination d'un défaut, il doit donc être raccordé d'une façon "rigide".

La norme définit une notion de "Canalisation", qui est un ensemble constitué par plusieurs "conducteurs électriques", la notion de longueur de canalisation devant être interprétée comme la distance entre l'alimentation et le récepteur final (électriquement il est donc tenu compte de la résistance du circuit aller et du circuit retour)

c) Conducteur PEN

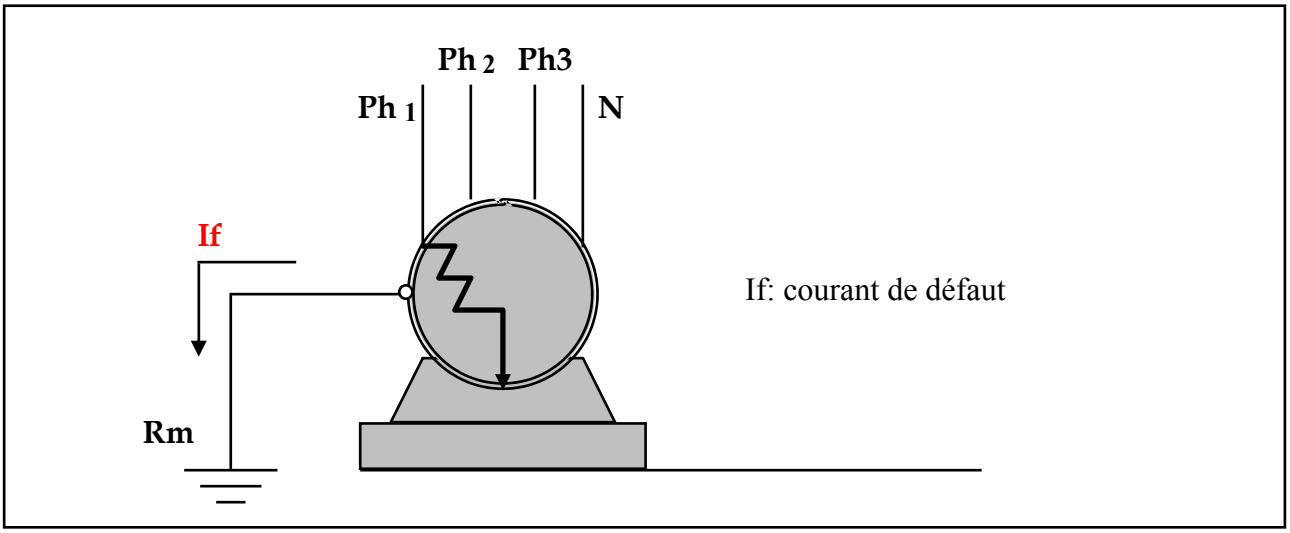
Conducteur relié à la terre, assurant les fonctions de Conducteur de Protection et de Conducteur de neutre (actif)
Il est admis (pour les différents calculs) que ce conducteur chemine à côté des conducteurs actifs.

2. Eléments de Terre.

Les différents textes (décrets ou normes) prévoyaient une mise à la terre des masses métalliques par l'intermédiaire de Réseaux de Terre.

L'Installateur comme l'Exploitant ont de multiples objectifs en réalisant ces circuits de terre :

1) Protéger les personnes contre les dangers provoqués par des défauts d'origine électrique, notamment d-s à une perte d'isolement.



2) Limiter les dommages au matériel provoqués par ces défauts.

3) S'assurer de la bonne définition de tenues thermique et mécanique du matériel dans les conditions extrêmes de défaut.

a) Prises de Terre.

Ce sont les différentes mises à la terre, comme Neutre du Transformateur, des Masses d'utilisation, qui peuvent être en fait un ensemble de prises de terre interconnectées de manière à réduire la résistance de terre.
Est considéré comme masse, toute partie conductrice d'une machine susceptible d'être touchée, normalement hors tension, qui le devient lors d'un défaut.
Elles peuvent être considérées comme électriquement distinctes lorsqu'elles sont suffisamment éloignées les unes des autres pour que le courant écoulé par l'une d'elles ne modifie pas sensiblement le potentiel des autres.

b) Résistances de Terre.

Résistance entre une prise de terre et un point de la terre suffisamment éloigné pour que le potentiel de ce point ne soit pas sensiblement modifié lorsqu'un courant s'écoule par la prise de terre. En pratique pour la représentation, ce point éloigné est considéré comme potentiel zéro et toutes les résistances de terre (neutre, masses) prises par rapport à ce potentiel zéro.
Cette résistance de terre dépendra de la conductivité du sol, et de la réalisation du "réseau de terre".

- **Nota :** **:**
  La norme prévoit de mesurer la résistance des prises de terre et décrit une méthode (mesure de potentiel, sous courant constant à fréquence industrielle, par l'intermédiaire de 2 prises de terre auxiliaires. D'autres méthodes comme une mesure à fréquence différente de la fréquence industrielle (pour s'affranchir des courants telluriques) ou celles de Wiener ou de Schlumberger nécessitent un matériel d'essai plus complexe.

Une masse est considérée comme "bonne" lorsque sa résistance est inférieure à 10 Ω, une masse est considérée comme "mauvaise" lorsque sa résistance est supérieure à 30 Ω.

3. Différents Neutres (réseau BT alternatif).

a) Neutre Electrique.

C'est le centre de gravité du triangle équilatéral formé par les 3 Tensions composées. En régime dit déséquilibré, c'est à dire en présence de défaut (autre que triphasé) ce centre de gravité s'applique au système triphasé équilibré direct ou inverse. Un système est dit équilibré lorsque le niveau de Tension Inverse est inférieur à 2 %. Ce Neutre Electrique existe toujours. Dans un réseau triphasé où l'enroulement du transformateur de puissance est en triangle par exemple, ce neutre électrique définit 3 Tensions Simples.

b) Neutre Physique.

C'est le point commun des enroulements d'une machine électrique (générateur, transformateur, moteur etc.) montés en étoile. Il peut être sorti ou non, accessible ou non, mis à la terre ou non. S'il est distribué un "conducteur actif" de neutre existe.

c) Neutre Artificiel.

Lorsque le neutre n'est pas accessible, ou lorsque l'installation ne comporte pas de neutre physique, il est crée un neutre artificiel à partir de 3 Transformateurs de Tension raccordés en étoile. Ce neutre artificiel sera utilisé pour le branchement d'une impédance (neutre impédant permettant de limiter les surtensions dangereuses) ou d'un contrôleur d'isolement.

4. Différentes Tensions.

a) Tensions Composées (entre phases).

La tension composée est la différence de potentiel entre 2 phases consécutives (1-2, 2-3, 3-1), (l'angle entre ces tensions composées étant de 60°). En France, en général, la Basse Tension a une tension composée de 400 V. La norme prévoit de prendre 80 % de cette tension pour faire les mesures ou calculs de défaut biphasé à la terre (voir nota ci-après).

b) Tensions Simples (phase-neutre).

La tension simple est la différence de potentiel entre 1 phase et le Neutre (1-N, 2-N, 3-N), (l'angle entre ces tensions simples étant de 120°, et le déphasage entre Tensions Composées et Tension Simple de 30°). En France, en général, la Basse Tension a une tension simple de 231 V (400 / √3). La norme prévoit de prendre 80 % de cette tension pour faire les mesures ou calculs de défaut monophasé à la terre (voir nota ci-après).

- **Nota :** **:**
  La norme prend comme hypothèse, qu'en cas de défaut l'impédance amont (Zam) est égale à 20 % de l'impédance totale (Zt) composée de l'impédance amont (Zam) et de l'impédance aval (Zav). Dans ce cas la tension alimentant le défaut est égale à 80 % de la force électro-motrice. Cette hypothèse, qui a pour but de simplifier le calcul en ne tenant pas compte du réseau amont (de source), entraînera des différences par rapport au calcul complet théorique.

c) Tension Phase-Terre.

A ne pas confondre avec la Tension Simple. En absence de défaut, lorsque les capacités et résistances par phases du réseau sont identiques, le potentiel du Neutre Electrique se confond avec celui de la Terre, en première approximation, aucun courant ne circule dans l'impédance de neutre (Zn) :

$Vn = - Zn\ In = 0.$

En cas de défaut, un courant s'établit entre la masse en défaut et la terre :

If = In + Ic + Ir

If = courant de défaut
In = courant dans le neutre
Ic = courant capacitif (de défaut)
Ir = courant dans les résistances d'isolement (courant de fuite)

Le courant Ir, très faible, peut être négligé.

Le point neutre est porté à un potentiel :

Vn = - Zn.In

Si neutre isolé If = Ic
Si neutre impédant If = In + Ic
Si neutre directement à la terre If = In (Ic peut être négligé)

Le potentiel du Neutre va être élevé, suivant le type de mise à la terre du neutre, avec comme valeur extrême, en cas de réseau à neutre isolé un potentiel de neutre égal à celui de la phase en défaut (tension simple).
Il est à noter que dans ce cas extrême, les phases saines (qui en absence de défaut sont des tensions simples) auront un potentiel égal à la tension composée d'où risque pour le matériel si cette configuration de tenue n'a pas été prévue.

d) Tension Résiduelle et Tension Homopolaire.

Tension Résiduelle

C'est la somme vectorielle des tensions Phase-Terre
(1-T + 2-T + 3-T). Elle est obtenue à partir de 3 Transformateurs de tension dont le primaire est raccordée entre phases et terre et le secondaire en triangle ouvert. La tension résiduelle se mesure aux bornes de ce triangle ouvert et est donc une grandeur physique.

Tension Homopolaire

A ne pas confondre avec la Tension Résiduelle.
Dans la Méthode des Composantes Symétriques (étude des systèmes triphasés déséquilibrés), la Tension Homopolaire est le tiers de la somme vectorielle des tensions Phase-Terre (1-T + 2-T + 3-T). Elle est obtenue par le calcul et est donc en temps que telle une grandeur mathématique et non physique.
La relation entre Tension Résiduelle Vr et Tension Homopolaire Vo est Vr = 3 Vo

Lorsque les tensions ne sont pas équilibrées il apparaît une Tension Résiduelle, qui peut être mesurée, et une tension homopolaire qui peut être calculée.

e) Tension Limite.

C'est la tension la plus élevée à laquelle peut être maintenue une masse indéfiniment sans danger pour les personnes.
La norme prévoit 3 Valeurs de tension limite correspondant à 3 types d'utilisation :
Locaux sans risques particuliers : Ul = 50 V
Locaux avec risques particuliers (chantier par exemple):
Ul = 25 V
Locaux avec liquide permanent (piscine, salle de bain etc.):
Ul = 12 V
Dans les calculs ci-après le cas des locaux sans risques particuliers : Ul = 50 V a été retenu, l'extrapolation étant aisée pour les autres types de locaux.

f) Tension de Contact. Tension de pas.

C'est la différence de potentiel entre une masse et un point à la surface du sol distant de 1 m de cette masse, au moment où un courant de défaut s'écoule à la terre par cette masse.
Cette tension de contact correspond donc à une tension de "toucher".

Uc = Rm.If

Rm = résistance de la masse
If = courant de défaut

Dans le même esprit il existe une Tension de pas au voisinage d'une prise de terre. C'est la différence de potentiel entre deux points à la surface du sol distants de 1 m (estimation de la distance de 1 enjambée), au moment où un courant de défaut s'écoule à la terre par cette prise de terre, dans la direction du gradient maximal.

La norme prévoit, pour protéger les personnes, que le défaut doit être éliminé dans un temps d'autant plus réduit que la tension de contact Uc (différence de potentiel entre 2 masses accessibles en même temps ex : masse d'une machine et le sol) est plus élevée.

Dans le cas des locaux sans risques particuliers, les temps d'élimination (tc), correspondant à la durée maximale de maintien de la tension de contact, sont de, suivant le tableau 41 GA :

Tension de contact Uc	*Temps d'élimination tc*	
	Courant alternatif	Courant continu
<50 V	5,0 s	5,0 s
50 V	5,0 s	5,0 s
75 V	0,6 s	5,0 s
90 V	0,45 s	5,0 s
120 V	0,34 s	5,0 s
150 V	0,27 s	1,0 s
220 V	0,17 s	0,4 s
280 V	0,12 s	0,3 s
350 V	0,08 s	0,2 s
500 V	0,04 s	0,1 s

Dans le cas des locaux pour lesquels la tension limite doit être limitée à 25 V en courant alternatif et 60 V en courant continu, les temps d'élimination (tc) sont de, suivant le tableau 48 GA :

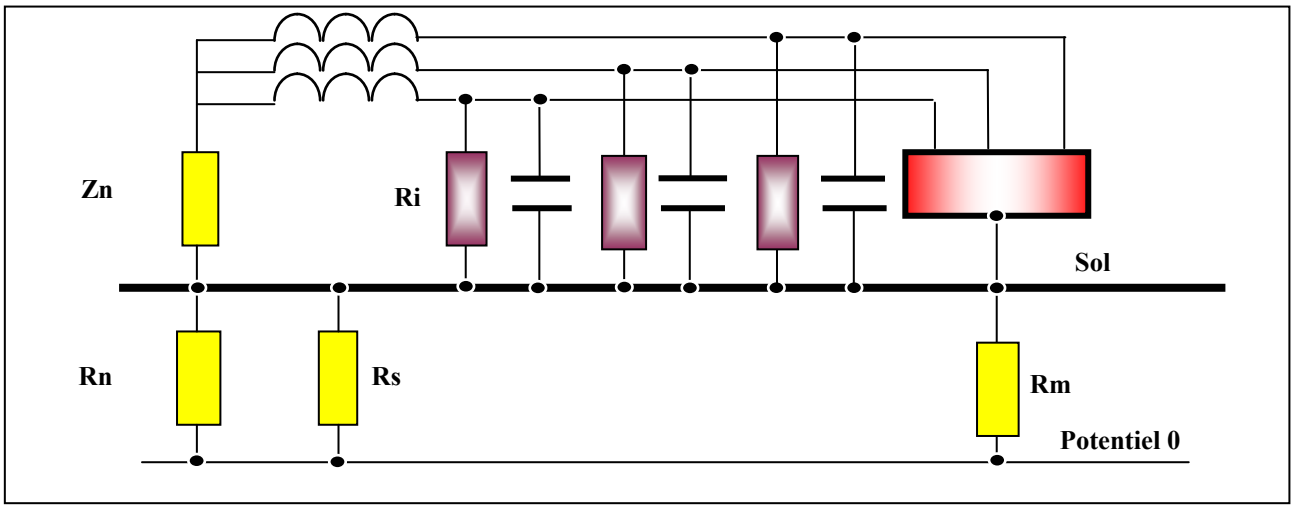
Tension de contact Uc	*Temps d'élimination tc*	
	Courant alternatif	Courant continu
25 V	5,0 s	5,0 s
50 V	0,48 s	5,0 s
75 V	0,3 s	2,0 s
90 V	0,25 s	0,8 s
110 V	0,18 s	0,5 s
150 V	0,12 s	0,25 s
230 V	0,05 s	0,06 s
280 V	0,02 s	0,02 s

g) Tension de Sécurité (TBTS)

Tension de valeur très faible (25 V par exemple) permettant d'assurer les mesures de protection contre les contacts directs et indirects moyennant un certain nombre de règles (utilisation d'un transformateur de sécurité, masses non reliées à la terre, parcours séparé etc.)

5. Schéma Général Applicable en BT.

Le schéma ci-dessous est applicable pour tous les schémas BT, à condition de le personnaliser suivant les différentes valeurs.



par exemple si :

- Zn est infinie : le réseau est à neutre isolé
- Zn a une valeur finie : le réseau est à neutre impédant
- Zn est nulle : le réseau est à neutre mis directement à la terre dans le cas d'un réseau court les capacités C1, C2, C3, pourront être négligées.

Le conducteur de neutre peut être distribué ou non.
Le conducteur de protection peut être raccordé au conducteur de neutre ou non.

La personnalisation de ce schéma permettra de se faire immédiatement une idée sur l'importance des courants de défaut.

Les défauts francs à la terre, dans ce réseau, provoqueront un courant de défaut de:

$If = In + 3.C.\omega.Vn$

In = courant dans le neutre

avec

In = 0 dans le cas du neutre isolé et $If = 3.C.\omega.Vn$

$I_n = \frac{V_n}{R_n}$ dans le cas du neutre résistant

In est en quadrature avec 3.C.ωV$_n$ et $I_f = V_n.\sqrt{(1/R_n)^2 + 9.C^2.\omega^2}$

$I_n = -j.\frac{V_n}{L.\omega}$ dans le cas du neutre mis à la terre par unréactance

In est en opposition de phase avec 3.C.w.Vn et $I_f = V_n.\left(3.C.\omega - \frac{1}{L.\omega}\right)$

$I_n = \frac{V_n}{R_b}$ dans le cas du neutre mis directement à la terre,

$3.C.\omega.Vn$ est négligeable devant In et *If=Vn/Rb*

Rb = résistance de la "boucle" en défaut

B. Ordres de Grandeur des différents intervenants.

1. Résistance Electrique du Corps Humain.

La norme CEI 479.1 a défini d'une manière statistique (au sens mathématique du terme) des valeurs de résistance électrique du corps humain. Sans entrer dans les différents chapitres de cette norme, les valeurs de résistance dépendent de très nombreux paramètres: chemin parcouru par le courant, "tension d'injection", état d'humidité de la peau etc.

A titre indicatif, dans le cas le plus réaliste (contact de la masse par une main et deux pieds au sol sans chaussures isolantes) la peau étant humide (ni parfaitement sèche, ni mouillée, ni immergée dans l'eau), la résistance du corps humain dans ces conditions varie de l'ordre de 3300 Ω à 12 V, 2500 Ω à 25 V, 2000 Ω à 50 V et 1000 Ω à 250 V. Ceci est bien entendu un ordre de grandeur moyen à prendre comme tel.
Il est commode de ne retenir que la seule valeur de 2000 Ω comme résistance électrique moyenne du corps humain.

Rappelons, pour mémoire, qu'une sensibilité de 30 mA sur un disjoncteur différentiel correspond à l'ordre de grandeur du courant de court-circuit provoqué dans une résistance de 2000 Ω par une tension de 60 V.
Ce courant de 30 mA, pris dans l'exemple ci-dessus, correspond pour le corps humain à un choc dangereux (seuil de paralysie respiratoire et risque de fibrillation cardiaque).
Un courant devient perceptible à partir de quelques centaines de micro-ampère.
Un courant de 30 mA entraîne des contractions musculaires (tétanisation).
Le seuil de fibrillation cardiaque est de 75 mA.
Un courant de 1 A peut entraîner un arrêt cardiaque irréversible.
Il faut noter que le courant continu est moins dangereux que le courant alternatif, les effets sont différents (impression de chaleur) et les seuils plus élevés.

2. Impédances du Réseau.

a) Isolement Total

En Basse Tension un réseau est considéré comme correctement isolé quand les résistances de fuite à la terre : R1, R2, R3 sont supérieures à 1000 Ω/V avec un minimum de 250 kΩ.

b) Terre.

La norme n'impose pas une valeur maximale de résistance de terre mais les résistances de terre doivent avoir une valeur appropriée à l'usage auquel les prises de terre correspondantes sont destinées. Une fois la mesure effectuée, le calcul devra démontrer que la tension limite ne peut être atteinte.

En retirant les cas extrêmes où la nature du terrain est du granit, du grès, du sable siliceux, du sol pierreux ou des calcaires compacts, la résistance de terre sera de 10 à 30 Ω.

c) Conducteurs de Liaison.

Chaque conducteur présente, par rapport à la terre, une capacité dépendant de la section du conducteur mais dont l'ordre de grandeur est compris entre 0.25 à 0.5 μF/km, soit une impédance de 12.74 à 6.37 kΩ pour 1 km (pour 2 km, elle sera moitié) .

C. Calculs des Courants de Défaut à la Terre (Courant Alternatif).

1. Méthode des Composantes Symétriques.

La norme CEI 909 définit une méthode de calcul du courant de défaut dans les systèmes triphasés.
Le principe des composantes symétriques est que tout système triphasé déséquilibré peut être décomposé en 3 Systèmes Equilibré un système direct, un système inverse et un système homopolaire.
Bien qu'applicable à tous les niveaux tensions, cette méthode n'est utilisée qu'en THT, HT, MT.
En BT compte tenu des valeurs relatives des différents paramètres de nombreuses simplifications sont possibles et la méthode de calcul de la boucle est retenue.
La méthode des composantes symétriques est citée à titre indicatif.

a) Monophasé à la Terre.

$$I_d = \frac{3.V_n}{(Z_d + Z_i + Z_0 + 3.R)} = \frac{\sqrt{3}.U_n}{(Z_d + Z_i + Z_0 + 3.R)}$$

Dans laquelle :

Id	=	courant de défaut
Zd	=	impédance directe totale amont
Zi	=	impédance inverse totale amont
Zo	=	impédance homopolaire amont (hors BT)
R	=	somme des résistances intervenant dans la terre en BT
Vn	=	tension simple
Un	=	tension composée

b) Biphasé à la Terre.

$$I_d = \frac{\sqrt{Z_i^2 + (Z_0 + 3.R).Z_i + (Z_0 + 3.R)^2}}{Z_d.Z_i + (Z_0 + 3.R).Z_i + (Z_0 + 3.R).Z_d}.U_n$$

$$I_0 = \frac{Z_i}{((Z_0 + 3.R).Z_i / Z_i + Z_0 + 3.R)^2} \times V_n$$

$$Ir = 3.Io$$

Dans laquelle :

Id	=	courant de défaut
Io	=	courant homopolaire (défaut à la terre)
Ir	=	courant résiduel
Zd	=	impédance directe totale amont
Zi	=	impédance inverse totale amont
Zo	=	impédance homopolaire amont (hors BT)
R	=	somme des résistances intervenant dans la terre en BT
Vn	=	tension simple
Un	=	tension composée

2. Méthode Conventionnelle du Courant de la Boucle.

La méthode des composantes symétriques impose de tenir compte des impédances amont (de la source au point de défaut).
Dans le cas de la BT, l'impédance de source (20 kV et au dessus) peut être négligeable devant l'impédance propre du transformateur MT/BT. De même l'impédance propre du transformateur MT/BT est négligeable devant les impédances du réseau BT (résistances de terre et conducteurs)
Il suffit alors de réduire le schéma de calcul du courant de défaut par un générateur (tension simple dans le cas d'un défaut monophasé et tension composée dans le cas d'un défaut biphasé) et une boucle d'impédance retenant toutes les impédances BT intervenant (les résistances de terre intervenant pour leurs propres valeurs par opposition à la méthode des composantes symétriques où elles interviennent pour le triple).
La boucle Zd se définit donc par l'impédance du circuit parcouru par le courant de défaut.
Cette impédance est assimilée à une résistance pure dans le cas de section < 120^2 et dont la valeur est

$$R_d\,(\Omega) = \frac{22{,}5}{s\left(mm^2\right)} \times L(km)$$ dans le cas d' un conducteur en cuivre et

$$R_d\,(\Omega) = \frac{36}{s\left(mm^2\right)} \times L(km)$$ dans le cas d' un conducteur en aluminium

Pour les sections > 120^2, où la réactance du conducteur n'est plus négligeable, il est prévu d'utiliser un coefficient de surdimensionnement qui a comme valeur :

section 150^2	k = 1.15	soit pour le cuivre	Rd = 0.1725 Ω/km
section 185^2	k = 1.2	soit pour le cuivre	Rd = 0.146 Ω/km
section 240^2	k = 1.25	soit pour le cuivre	Rd = 0.117 Ω/km
section 300^2	k = 1.3	soit pour le cuivre	Rd = 0.0975 Ω/km

Dans le cas d'un calcul faisant intervenir la réactance ex: calcul du courant de crête à l'établissement du défaut cette simplification n'est pas admissible.

a) Monophasé à la Terre.

Cas général :

$$Id = \frac{\text{Tension simple (Vn)*}}{\text{Résistance de boucle}}$$

* La norme prévoit de faire le calcul pour 80 % de cette valeur.
La résistance de boucle est la somme des résistances rencontrées par le courant de défaut.

Exemple: dans le cas du neutre impédant,

$$Rb = Rd + Rm + Rn + Zn$$

Dans laquelle :

Rb	=	Résistance de boucle
Rd	=	Résistance de Défaut
Rm	=	Résistance de Masse
Rn	=	Résistance de Neutre
Zn	=	Impédance de Neutre

Cas particulier : Neutre Isolé

Le seul courant de défaut provient de la capacité de la totalité du réseau. Le défaut court-circuite la phase concernée, élève le potentiel des 2 phases saines qui fournissent alors un courant de défaut :

$Id = 3.Vn.C_0.\omega$

Dans laquelle
C_0 = Capacité du réseau (par phase)
ω = Pulsation du courant = 314 à 50 Hz

Les différentes résistances de terre étant négligeables devant la réactance capacitive.
Dans ce cas le Neutre se trouve au potentiel de la phase en défaut (tension simple) et les phases saines à un potentiel de tension composée.

b) Biphasé à la Terre.

$$Id = \frac{\text{Tension composée (Un)*}}{\text{Résistance de boucle}}$$

* La norme prévoit de faire le calcul pour 80 % de cette valeur.
La résistance de boucle est la somme des résistances rencontrées par le courant de défaut, suivant que les masses seront interconnectées ou non : ce dernier point devra être pris en compte tout comme la résistance des conducteurs amenant le courant de défaut, et pour la simulation différents cas de figure devront être calculés en tenant compte du schéma exact du réseau.

- Nota :
  La norme prévoit d'effectuer la mesure des impédances de toutes les boucles et décrit 2 méthodes :
  - mesure au moyen des chutes de tension
  - mesure au moyen d'une alimentation de tension

3. Terminologie employée dans les 2 Méthodes.

les calculs effectués à partir de la méthode des composantes symétriques font apparaître des impédances Zd (impédance directe)
Zi (impédance inverse), Zo (impédance homopolaire).
Ces impédances sont, par application de la loi d'Ohm, le rapport entre une tension et un courant.
En ce qui concerne l'impédance homopolaire :

$$Z_0 = \frac{V_0}{I_0}$$

Vo est la Tension Homopolaire et Io le Courant Homopolaire

Pour les calculs une résistance dans le circuit de terre (y compris dans le neutre du transformateur) a une valeur triple dans le régime homopolaire.

Il faut rappeler qu'un "Tore Homopolaire" dans lequel passe les conducteurs des 3 phases fait la mesure de sommation i1 + i2 + i3 qui correspond au Courant Résiduel et non au Courant Homopolaire:
$Ir = 3 \times Io,$
de la même manière le triangle ouvert, des secondaires de 3 TP dont les primaires sont montés en étoile, ne délivre pas une Tension Homopolaire mais une Tension Résiduelle:
$Ur = 3 \times Uo$

La méthode pratique de boucle définit un courant de défaut qui correspond au Courant Résiduel (puisque mesurable dans le neutre).

Les électriciens, plutôt que de se référer à un Courant Résiduel, citent le Courant Différentiel Id, ou le Courant Différentiel Résiduel il s'agit des mêmes grandeurs.

- Remarques: :
  Les résultats obtenus par la méthode des composantes symétriques diffèrent légèrement des valeurs obtenues par les calculs conventionnels (méthode conventionnelle de la boucle préconisée par la norme). Ces différences proviennent des hypothèses et simplifications admises par la norme.

D. Objectifs de la Norme NFC 15100 (dans le cadre de la Protection des Personnes).

La norme prévoit un certain nombre de chapitres, qui ne seront pas reprises dans le présent guide.
Il faut citer notamment :

- La protection contre les surintensités (disjoncteur et fusible)
  - Surcharge
  - Court-circuit
- la protection contre les effets thermiques
- la protection contre l'incendie
- Vérification et entretien des installations

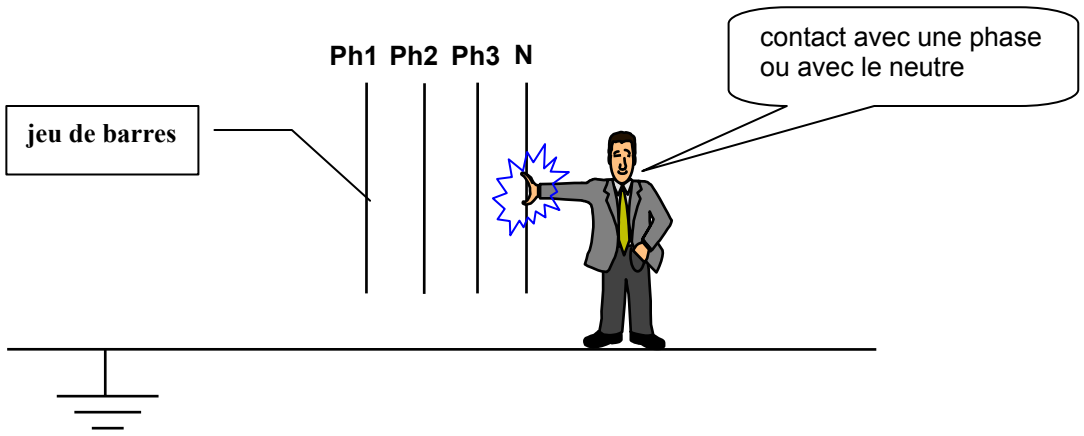
Ainsi que des cas d'applications spécifiques:

- Installations électriques des marinas et des bateaux de plaisance
- Locaux d'habitation
- Télécommunications et courants faibles
- Dispositions spéciales aux installations des parties communes et des services généraux des immeubles collectifs d'habitation

  - Nota : La protection contre les surtensions sera traitée dans le chapitre "Parasurtenseur"

1. Protection contre les dangers dus aux contacts directs.

CONTACT DIRECT: contact d'une personne avec une partie active d'un matériel sous tension

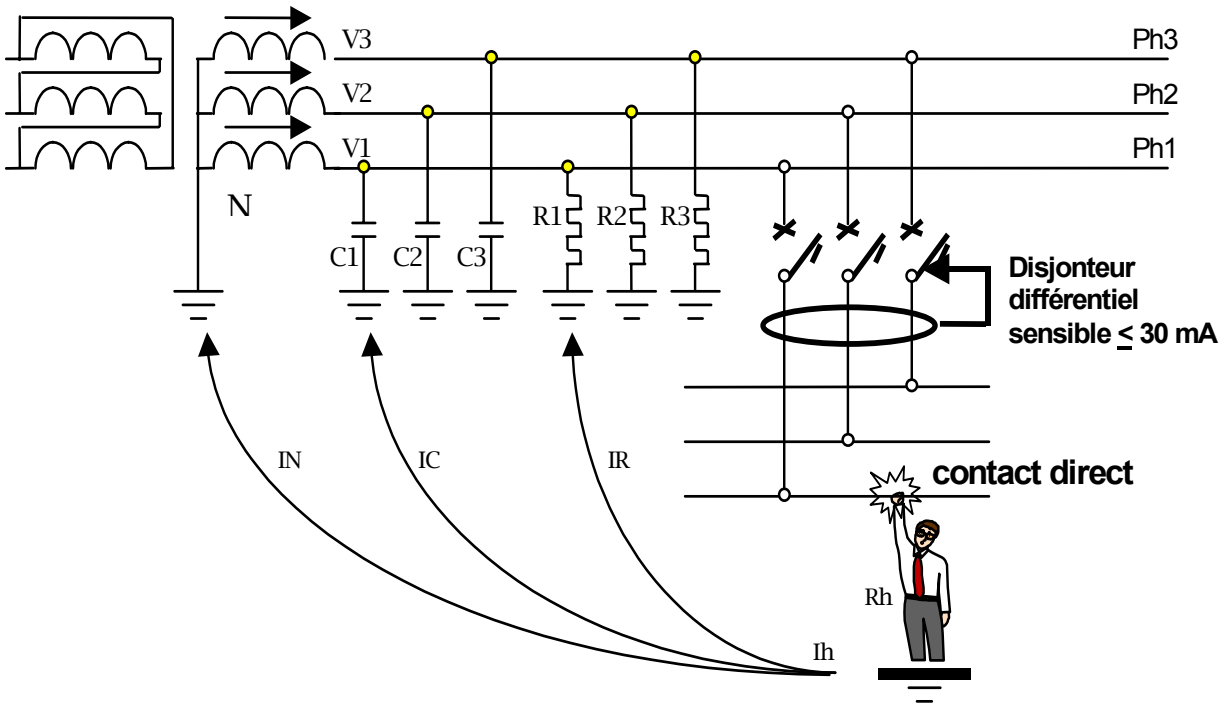


Il s'agit des contacts avec des points qui, en service normal (exploitation) sont sous tension.
La protection se traduit par un certain nombre de précautions :

- Isolation des parties actives
- Protection au moyen d'enveloppes (ex. armoire, coffret) ou de barrières (ex. muret d'éloignement, obstacles)

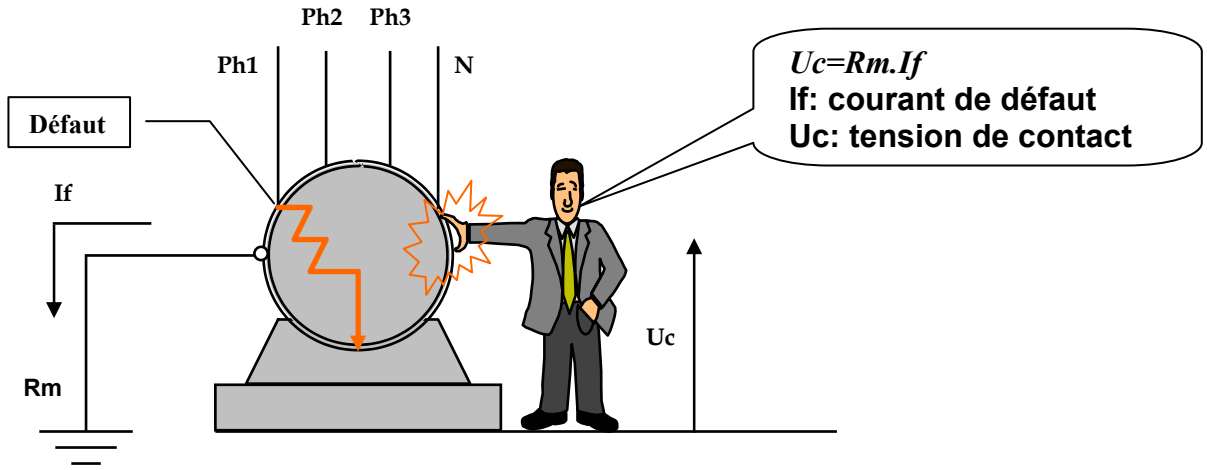
La solution qui semble la plus simple est moyennant, le respect de la norme, l'utilisation de la TBTS (<25 V)
Cette solution est en pratique utilisable que dans des cas particuliers (peu de puissance demandée).

Enfin, et comme protection complémentaire seulement, l'emploi de Dispositifs Différentiels Résiduels. La sensibilité maximale d'un tel dispositif sera de 30 mA.



2. Protection contre les dangers dus aux contacts indirects.

CONTACT INDIRECT: contact d'une personne avec une masse accidentellement sous tension



Il s'agit des contacts avec des masses qui, en service normal (exploitation) sont isolées et mises sous tension lors d'un défaut d'isolement.
La protection sera réalisée par l'une des deux mesures se répercutant sur l'alimentation, en cas de défaut :

- Protection sans coupure de l'alimentation (cas limité)
  - Aucune masse ne doit être reliée au Conducteur de Protection et le défaut est rendu non dangereux par l'utilisation de matériels complémentaires
  - Séparation de sécurité des circuits (emploi de transformateurs d'isolement)
  - Mise en place d'une isolation supplémentaire
  - Utilisation de matériel de classe II (double enveloppe)
  - Interposition d'obstacles
  - Liaison équipotentielle limitée au local et isolée de la terre.

- Protection avec coupure de l'alimentation (cas général)
  - Toute masse doit être reliée au Conducteur de Protection lui même mis à la terre
  - Les masses accessibles, au même moment et par la même personne,
  - doivent être reliées à la même prise de terre
  - Un dispositif de Protection assurera la mise hors tension de la partie en défaut. Le principe de ce dispositif dépendra du régime de neutre de l'installation à protéger mais son temps de fonctionnement devra impérativement respecter la règle définie par la norme concernant le temps d'élimination en fonction de la tension de contact.

III. Régimes de Neutre.

A. Classification d'après la Norme

Le régime du réseau BT est caractérisé par 2 lettres
1ère lettre = la situation du neutre par rapport à la terre :

- I = neutre Isolé ou relié à la terre par une Impédance
- T = neutre relié directement à la Terre

2ème lettre = la situation des masses de l'appareillage :

- N = masses reliées au Neutre
- T = masses reliées à une prise de Terre

Dans le cas du neutre relié à la Terre (T) et des masses reliées au neutre (N), donc schéma TN, il y a une troisième lettre :

- si le Conducteur de Neutre et le Conducteur de Protection sont Confondus (4ème fil = PEN) le schéma est dénommé TN-C
- si le Conducteur de Neutre (N) et le Conducteur de Protection (PE) sont Séparés (5 fils) le schéma est dénommé TN-S
- dans le cas du réseau mixte le Conducteur de Neutre et le Conducteur de Protection sont confondus sur une partie du réseau et séparés pour l'autre partie le schéma est dénommé TN-C-S

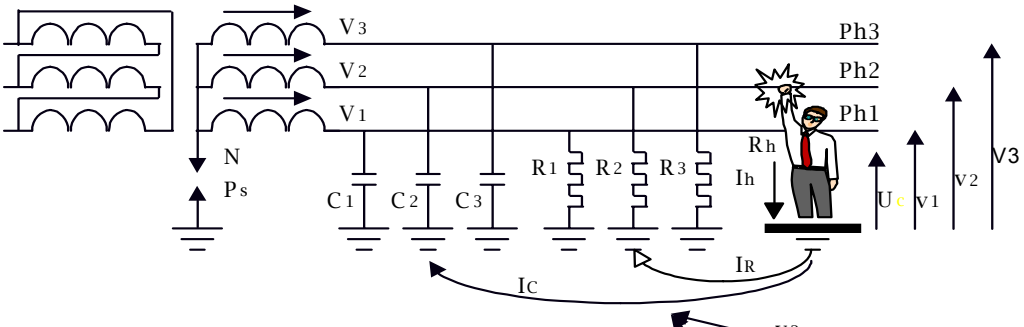
Rappel :
Le schéma TN-C (dit 4 FILS) est interdit pour les sections de Cuivre < 10^2 et en Aval d'un schéma TN-S, il nécessite de disposer de prises de terre tout le long du conducteur PEN.
Le schéma TN-S (dit 5 FILS) est obligatoire pour les sections de Cuivre < 10^2 et interdit en Amont d'un schéma TN-C, il nécessite de disposer de prises de terre tout le long du conducteur PE.
Dans le schéma mixte il est donc obligatoire que le schéma TN-C soit en Amont et le schéma TN-S soit en Aval.

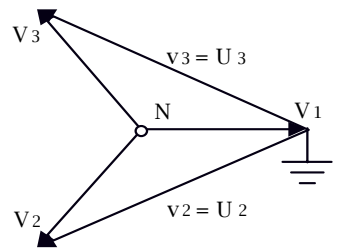
B. Différents Régimes de Neutre (Liaison à la terre)

1. Neutre Isolé "IT"

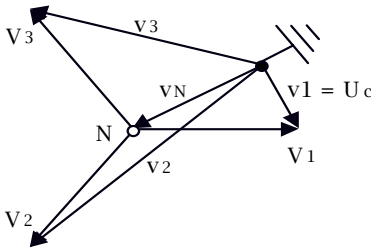
Le neutre physique d'une telle installation est volontairement non relié à la terre.
Le conducteur de neutre n'est pas généralement distribué (ceci est "recommandé" par la norme car moins contraignant en cas de second défaut).
Les masses métalliques de l'installation sont reliées à un conducteur de protection PE, mis à la terre.

Réseau parfaitement isolé





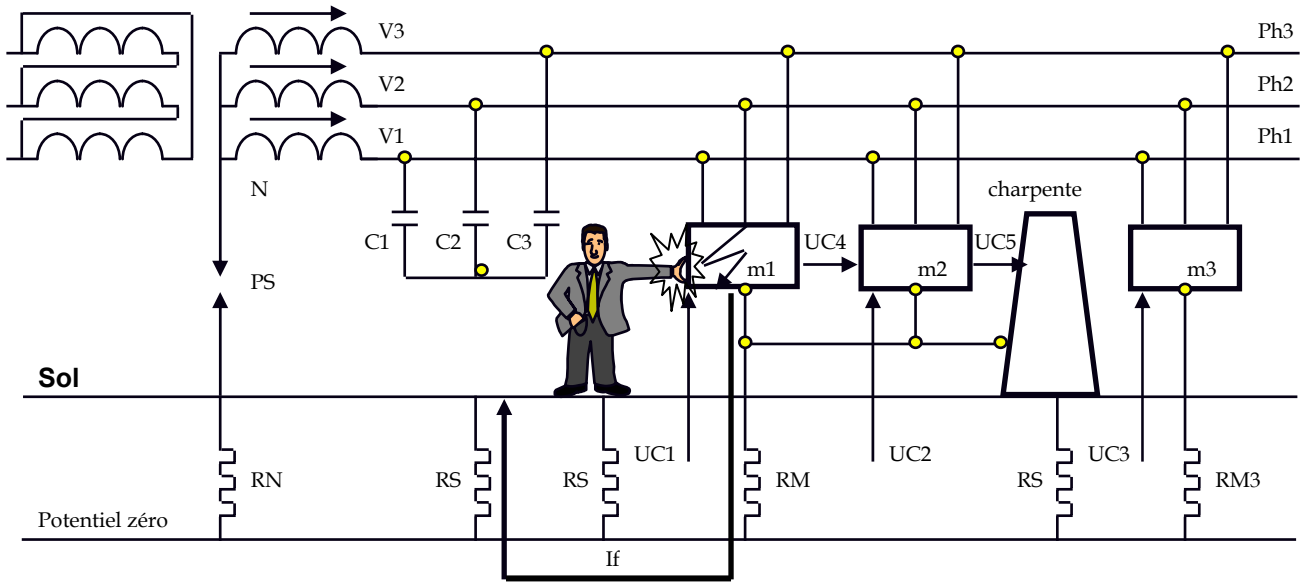
réseau de faible étendue



réseau très étendu

a) Description avec calculs

Dans un tel réseau, en absence de défaut, le potentiel du neutre est celui de la terre.
En cas de défaut monophasé, on pourrait supposer que le courant de défaut va être nul. Il va circuler, en fait, un faible courant de défaut dû aux capacités des câbles du réseau.



Les 3 phases du réseau présente par rapport à la terre une capacité, d'autant plus importante que ce réseau est étendu (proportionnelle à la longueur du réseau).
Lorsqu'il y a un défaut monophasé, la capacité de la phase en défaut va être court-circuitée et les phases saines vont se trouver à un potentiel de tension composée.

Supposons un défaut sur la phase 1, le courant de défaut Id prendra comme valeur :

$Id = I2 + I3$
$I2 = Ic2 = Vn \times \sqrt{3} \times C.\omega$
$I3 = Ic3 = Vn \times \sqrt{3} \times C.\omega$
$Id = 3\ Vn\ C.\omega$

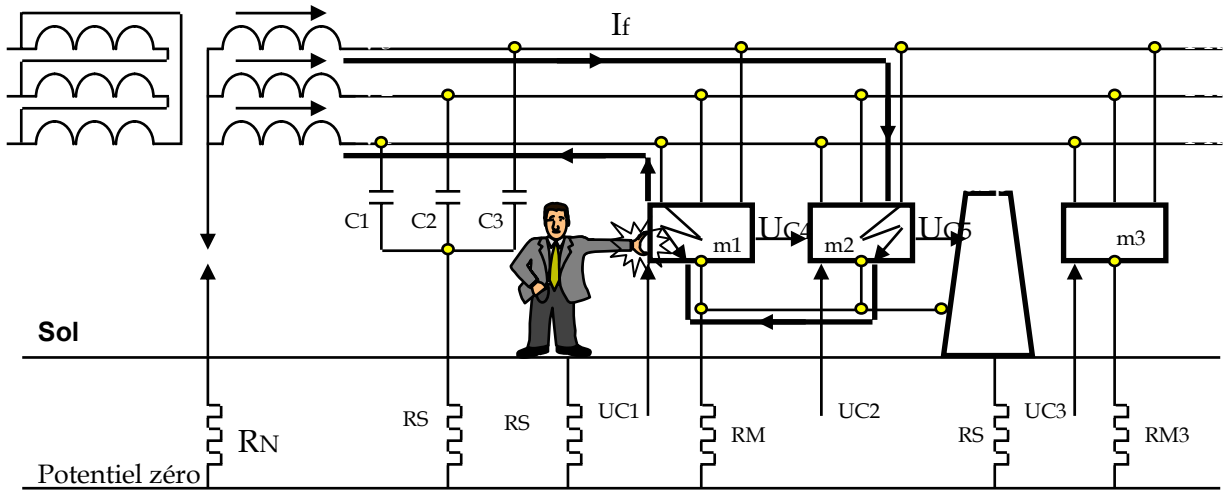
Nota :
Les résistances des masses métalliques et de défaut peuvent être ignorées dans ce calcul, car négligeables devant l'impédance présentée par la capacité du réseau.

Les masses métalliques seront portés à un potentiel de :
$Uc = Rm \times 3\ Vn\ C.\omega$

A titre d'exemple (pour le premier défaut) avec 5 km de câbles (capacité par phase de 0.25 µF/km)
$Vn = 230\ V,\ 50\ Hz$
$Rm = 15\ \Omega$
$Uc = 15 \times 3 \times 230 \times 5 \times 0.25 \times 10^{-6} \times 314 = 4\ V$

Donc inférieure à Ul, et non dangereuse, donc peut être maintenue en permanence.

deuxième défaut d'isolement:
Pour des raisons d'exploitation (le réseau est en défaut d'où nécessité de l'éliminer) et de sécurité : un deuxième défaut sur une phase différente (ou sur le neutre lorsque celui-ci est distribué) devenant dangereux, le premier défaut sera recherché et éliminé.



Cas du neutre non distribué :

En effet supposons, à la suite du défaut simple précédent sur la phase 1 et la masse métallique M1 (correspondant à la résistance Rm1), le défaut présentant une résistance Rd1, un second défaut sur la phase 2 et la masse métallique M2 (correspondant à la résistance Rm2), le défaut présentant une résistance Rd2.
Un second courant de défaut Id2 va circuler entre les masses métalliques M1 et M2, sa valeur sera indépendante du régime du neutre:

$$I_{d2} = \frac{V_n \times \sqrt{3}}{R_{d1} + R_{m1} + R_{d2} + R_{m2}}$$

Les masses métalliques vont prendre les potentiels

$$I_{c1} = \frac{V_n \times \sqrt{3} \times R_{m1}}{R_{d1} + R_{m1} + R_{d2} + R_{m2}}$$

$$I_{c2} = \frac{V_n \times \sqrt{3} \times R_{m2}}{R_{d1} + R_{m1} + R_{d2} + R_{m2}}$$

La différence de potentiel entre les masses M1 et M2 est égale à:

$$U_{m1} - U_{m2} = \frac{V_n \times \sqrt{3} \times (R_{m1} + R_{m2})}{R_{d1} + R_{m1} + R_{d2} + R_{m2}}$$

Pour réduire cette différence de potentiel il faut réduire Rm1 et Rm2 en interconnectant les 2 masses M1 et M2 à une même prise de terre de valeur la plus faible possible.
Une recommandation de la norme est de raccorder 2 masses accessibles en même temps, à la même prise de terre.

Nota :
Dans les calculs ci-dessus de courant de défaut il a été admis que les 2 masses métalliques étaient très proches l'une de l'autre et il n'a pas été tenu compte de la résistance de liaison entre les 2 alimentations.

Pour effectuer la vérification que le temps de fonctionnement de l'organe de coupure ne laisse pas l'installation en défaut sous tension un temps supérieur aux temps autorisés par la norme, il faudra calculer le courant de défaut minimum avec les valeurs maximums de résistances donc tenir compte de la résistance de la boucle d'alimentation du défaut (Rb) :

$$I_{d2} = \frac{V_n \times \sqrt{3}}{R_{d1} + R_{m1} + R_{d2} + R_{m2} + R_b}$$

Le temps de fonctionnement de l'organe de coupure (disjoncteur ou fusible) mesuré (ou calculé) pour cette valeur de courant

Cas du neutre distribué :

La norme impose, de faire également le calcul (pour la vérification des conditions de déclenchement) le second défaut sur le conducteur de neutre. Supposons, à la suite du défaut simple précédent sur la phase 1 et la masse métallique M1 (correspondant à la résistance Rm1), le défaut présentant une résistance Rd1, un second défaut sur le neutre N et la masse métallique M2 (correspondant à la résistance Rm2), le défaut présentant une résistance Rd2.
Un second courant de défaut Id2 va circuler entre les masses métalliques M1 et M2, sa valeur sera indépendante du régime du neutre:

$$I_{d2} = \frac{V_n}{R_{d1} + R_{m1} + R_{d2} + R_{m2}}$$

Les masses métalliques vont prendre les potentiels

$$I_{c1} = \frac{V_n \times R_{m1}}{R_{d1} + R_{m1} + R_{d2} + R_{m2}}$$

$$I_{c2} = \frac{V_n \times R_{m2}}{R_{d1} + R_{m1} + R_{d2} + R_{m2}}$$

La différence de potentiel entre les masses M1 et M2 est égale à:

$$U_{m1}_U_{m2} = \frac{V_n \times (R_{m1} + R_{m2})}{R_{d1} + R_{m1} + R_{d2} + R_{m2}}$$

Les mêmes remarques, en ce qui concerne la réduction de Rm1 et Rm2, sont applicables (cas du neutre non distribué).

Notas :
Le second calcul, dans le cas du neutre distribué amènera à des tensions de contact plus faibles donc moins dangereux dans l'esprit de la norme, mais aussi à des courants de défaut plus faible. Il peut y avoir des risques de non déclenchement, par le disjoncteur ou les fusibles, lorsque le défaut se produit en extrémité de ligne (impédance de boucle importante).
Dans les calculs ci-dessus de courant de défaut il a été admis que les 2 masses métalliques étaient très proches l'une de l'autre et il n'a pas été tenu compte de la résistance de liaison entre les 2 alimentations.

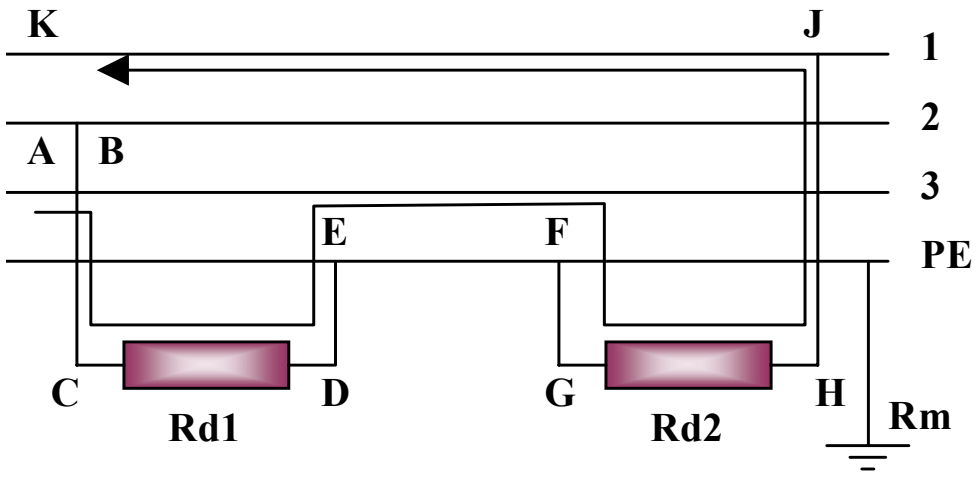
Pour effectuer la vérification que le temps de fonctionnement de l'organe de coupure ne laisse pas l'installation en défaut sous tension un temps supérieur aux temps autorisés par la norme, il faudra calculer le courant de défaut minimum avec les valeurs maximums de résistances donc tenir compte de la résistance de la boucle d'alimentation du défaut (Rb) :

$$I_{d2} = \frac{V_n \times \sqrt{3}}{R_{d1} + R_{m1} + R_{d2} + R_{m2} + R_b}$$

Le temps de fonctionnement de l'organe de coupure (disjoncteur ou fusible) mesuré (ou calculé) pour cette valeur de courant.

A titre d'exemple (pour le second défaut). Le courant de défaut produit par les 5 km de câbles (capacité par phase de 0.25 µF/km) sera négligé.

Cas du neutre non distribué :



AB = 10 m en 90^2
BC = 30 m en 30^2
DE = 30 m en 50^2
EF = 5 m en 50^2
FG = 45 m en 50^2
HJ = 45 m en 30^2
JK = 15 m en 90^2
Rm = 20 Ω
Rd1 = 0.2 Ω
Rd2= 0.3 Ω
Un = 400 V

Puissance de court-circuit de Source : Scc = 200 MVA
Transformateur de puissance : Sn = 1000 KVA (1 MVA), Ucc = 6 %
Calcul des impédances (en valeurs 400 V)
Source : $Zs = (0.4)^2 / 200 = 0.0008\ \Omega$
Transformateur : $Ztr = 0.06 \times (0.4)^2 / 1 = 0.0096\ \Omega$
Impédance totale amont : $Zam = Zs + Ztr = 0.0104\ \Omega$

Calcul de la résistance de boucle :

$R(\Omega) = \frac{22,5}{s(mm^2)} \times L(km)$ dans le cas de conducteurs en cuivre

Dans le calcul, aucune simplification n'a été effectuée, certains chiffres n'étant pas significatifs mais nécessaires pour la compréhension de l'exemple.

Rab	=	0.0025 Ω
Rbc	=	0.0225 Ω
Rcd	=	0.2 Ω
Rde	=	0.0135 Ω
Ref	=	0.0023 Ω
Rfg	=	0.0202 Ω
Rgh	=	0.3 Ω
Rhj	=	0.0338 Ω
Rjk	=	0.0038 Ω
		soit Rak = 0.5986 Ω ou Impédance aval : Zav = 0.5986 Ω

L'impédance totale:	Zt = Zam + Zav = 0.0104 + 0.5986 = 0.609 Ω
La tension au point de mesure sera de	0.5986 / 0.609 = 98.3 %
Le courant de défaut à 0.983 Un sera de:	If = (400 x 0.983) / 0.5986 = 657 A

Dans le cas de deux défauts francs soit Rcd = Rgh = 0 on aura:

Rak = 0.0986 Ω ou Impédance aval :	Zav = 0.0986 Ω
L'impédance totale:	Zt = Zam + Zav = 0.0104 + 0.0986 = 0.109 Ω
La tension au point de mesure sera de:	0.0986 / 0.109 = 90.5 %
soit	If = (400 x 0.905) / 0.0986 = 3671 A

Dans le cas de deux défauts francs la tension de contact maximum sera:
Uc1 = If x Rde = 3671 x 0.0135 = 50 V donc dangereuse
et Uc2 = If x Rfg = 3671 x 0.0202 = 74 V donc dangereuse

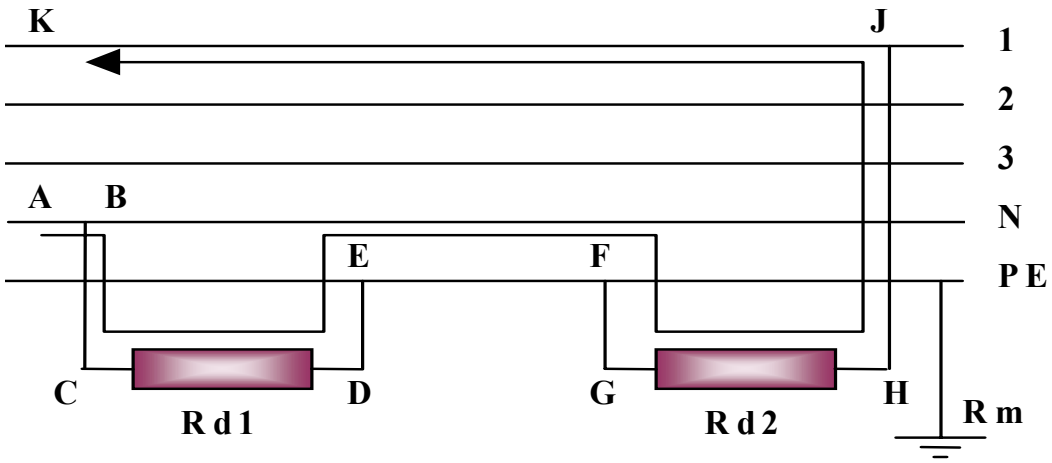
la tension de contact entre les masses M1 et M2, c'est à dire les points D et G sera:
Uc3 = If x Rdg = 3671 x (0.0135+0.0023+0.0202) = 132 V donc dangereuse

Remarques :
Le calcul ci-dessus a été effectué pour la tension de 362 V (400 x 0.905), pour effectuer les calculs de vérification de déclenchement, la norme retient Un - 20 % ce qui donne un courant de court-circuit de:
If = (400 x 0.8) : 0.0986 = 3245 A.
Pour ce courant de court-circuit de 3245 A, le disjoncteur ou les fusibles devront couper dans un temps inférieur à 0.27 s (si la tension limite retenue est de 50 V correspondant à une enceinte sans contrainte particulière) ou à un temps inférieur à 0.12 s (si la tension limite retenue est de 25 V correspondant à un chantier par exemple), ces temps correspondant à la tension de contact de 150 V.

Cas du neutre distribué :

Dans l'exemple il est admis que la distance entre M1 et M2 est < 1 m, la différence de longueur entre les "canalisations provenant d'un cheminement différent.

Le second défaut est sur le conducteur de neutre



AB	=	10 m	en	50^2
BC	=	30 m	en	30^2
DE	=	30 m	en	50^2
EF	=	5 m	en	50^2
FG	=	45 m	en	50^2
HJ	=	45 m	en	30^2
JK	=	15 m	en	90^2
Rm	=	20 Ω		
Rd1	=	0.2 Ω		
Rd2	=	0.3 Ω		
Un	=	400 V		

Calcul de la résistance de boucle :

$R(\Omega) = \frac{22,5}{s(mm^2)} \times L(km)$ dans le cas de conducteur s en cuivre

Dans le calcul, aucune simplification n'a été effectuée, certains chiffres n'étant pas significatifs mais nécessaires pour la compréhension de l'exemple.

Rab	=	0.0045 Ω
Rbc	=	0.0225 Ω
Rcd	=	0.2 Ω
Rde	=	0.0135 Ω
Ref	=	0.0023 Ω
Rfg	=	0.0202 Ω
Rgh	=	0.3 Ω
Rhj	=	0.0338 Ω
Rjk	=	0.0038 Ω
		soit Rak = 0.6006 Ω

Le courant de défaut à Vn sera de: If = 400/√3 : 0.6006 = 385 A
Dans le cas de deux défauts francs soit: Rcd = Rgh = 0 on aura
Rak = 0.1006 Ω soit If = 400/√3 : 0.1006 = 2296 A

Dans le cas de deux défauts francs la tension de contact maximum sera:
Uc1 = If x Rde = 2296 x 0.0135 = 31 V donc non dangereuse
et Uc2 = If x Rfg = 2296 x 0.0202 = 46 V donc non dangereuse

la tension de contact entre les masses M1 et M2, c'est à dire les points D et G sera:
Uc3 = If x Rdg = 2296 x (0.0135+0.0023+0.0202) = 83 V donc dangereuse

Remarques :
Le calcul ci-dessus a été effectué pour la tension nominale de 400/√3 V, pour effectuer les calculs de vérification de déclenchement, la norme retient Vn - 20 % ce qui donne un courant de court-circuit de:
If = (400/√3 x 0.8) : 0.1006 = 1836 A.
Pour ce courant de court-circuit de 1836 A, le disjoncteur ou les fusibles devront couper dans un temps inférieur à 0.27 s (si la tension limite retenue est de 50 V correspondant à une enceinte sans contrainte particulière) ou à un temps inférieur à 0.12 s (si la tension limite retenue est de 25 V correspondant à un chantier par exemple), ces temps correspondant à la tension de contact de 150 V.
Ceci est plus contraignant que le cas du neutre non distribué, car cela entraîne un courant de court-circuit plus faible pour le même temps de déclenchement, ceci revient à limiter la résistance de la boucle c'est à dire la longueur des conducteurs.

b) Obligations Légales

La norme impose de contrôler en permanence l'isolement du réseau (emploi du Contrôleur Permanent d'Isolement dit "CPI").
Bien que non imposé par la norme le dispositif devra comporter un seuil de pré-alarme temporisé permettant d'informer l'exploitant d'un début d'anomalie. Ce seuil pourra être réglé, par exemple, à 250 kΩ et avec une temporisation pour s'affranchir des phénomènes transitoires.
Le seuil de fonctionnement du "CPI" pourra être de 50 kΩ (valeur considérée comme normale pour une ancienne installation). Le premier défaut ne présentant pas de caractère dangereux, la norme n'impose pas la coupure, mais la recherche rapide de ce défaut pour élimination.
Ce type de schéma impose donc, dans l'esprit, un personnel d'exploitation pour effectuer cette recherche (localisation). La localisation du départ en défaut sera soit manuelle par ouverture successive des différents départs soit automatique.
La localisation manuelle bien qu'acceptable techniquement n'est pas satisfaisante sur le plan technologique.
La localisation automatique pourra être réalisée avec une mise à la terre intentionnelle et momentanée par l'insertion d'une impédance dans le neutre (transformateur ou artificiel).
La valeur de ce courant de défaut sera telle qu'en aucun cas, la tension limite sera atteinte. La norme impose que ce courant soit limité à 0.5 A.
Chaque départ sera équipé d'un tore résiduel, et le départ en défaut mesurera un courant correspondant à la somme du courant de neutre et des courants capacitifs des départs sains (qui sont dans ce cas générateur de courant de défaut).
Ceci signifie que tous les départs détecteront un courant de défaut mais de valeurs différentes, le départ en défaut mesurant la valeur la plus élevée.
Le relais de mesure associé à ces tores devra soit être réglé à une valeur supérieure aux courants capacitifs de l'ensemble du réseau, soit ne retenir que la valeur maximum maximorum, pour définir quel est le départ en défaut et ainsi l'éliminer.
Le dispositif de détection du deuxième défaut (en cas de non-élimination du premier défaut) sera assuré soit par un disjoncteur comportant un élément différentiel, soit par un ensemble fusible + Dispositif de Détection Résiduelle dite "DDR".
La détection et l'élimination des défauts à la terre ne devant en aucun cas être en contradiction avec la norme (temps de déclenchement en fonction de la tension de contact).

La norme impose de faire la vérification des conditions de déclenchement (contre les contacts indirects) :
La vérification est faite, pour chaque départ pris séparément, que le courant de défaut minimum, à l'extrémité de ligne, provoque le déclenchement de l'organe de coupure (disjoncteur réglé à Imag ou fusible à Ifus).
Les conditions de détermination et de vérification sont les suivantes :

- tension de calcul prise à 80 % de la tension nominale
- réactance des conducteurs négligée, moyennant la prise en compte d'un coefficient de surdimensionnement lorsque la section est supérieure à 120^2 (voir chapitre II.C.2 pour les valeurs à retenir)
- le conducteur de protection PE chemine avec les conducteurs de phase (même longueur)
- les sections des conducteurs de phase Sph et de protection Spe sont les mêmes sur toute la longueur, ce qui permet de définir un coefficient m = Sph / Spe
- application des formules définissant une longueur de départ maximale, et vérification que le départ considéré à une longueur inférieure.

Formules :

I.) Cas du neutre non distribué :

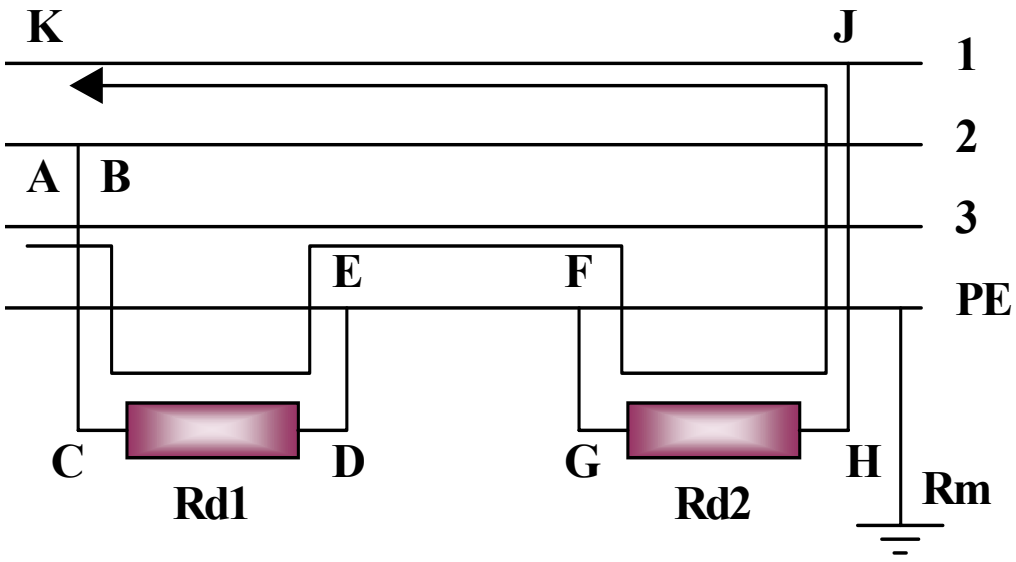
$$L_{\max} = \frac{0{,}8.U.S_{ph}}{2.p.(1+m).I_{mag}} = \frac{0{,}8.U.S_{ph}}{2.p.(1+m).I_{fus}}$$

ce qui donne $U_c = \frac{0{,}4.U_m}{1+m}$

avec

Lmax	=	longueur maximale de la canalisation (en km)
U	=	tension nominale entre phases (en Volt)
Sph	=	section du conducteur de phases (en mm^2)
p	=	résistivité du conducteur pour le cuivre = 22.5 Ω/km
m	=	rapport Sph / Spe
Spe	=	section du conducteur de protection (en mm^2)
Imag	=	courant de fonctionnement du magnétique du disjoncteur
Ifus	=	courant de fonctionnement du fusible (dans le temps correspondant à Uc)

Exemple d'application :



AB = 10 m en 90^2
BC = 40 m en 30^2
DE = 40 m en 50^2
EF = 1 m en 50^2
FG = 40 m en 50^2
HJ = 40 m en 30^2
JK = 2 m en 90^2
Rm = 20
Rd1 = 0
Rd2= 0
Un = 400 V

A.) Calcul suivant ch III.B.1.a

Rab = 0.0002 Ω
Rbc = 0.01 Ω
Rde = 0.018 Ω
Ref = 0.0005 Ω
Rfg = 0.018 Ω
Rhj = 0.01 Ω
Rjk = 0.0005 Ω
soit Rak = 0.0572 Ω

On admet que l'impédance amont : Zam = 0.0143 Ω
soit Zt = Zam + Zav = 0.0715 Ω et la tension alimentant le défaut et $Ud = Zav / Zt = 0.8$ soit $Ud = 80\ \%\ Un$ (comme pour le calcul conventionnel de la norme).

Le courant de défaut à 0.8 Un sera de: $If = (400 \times 0.8) / 0.0572 = 5594\ A$

Dans le cas de deux défauts francs Rd1 = Rd2 = 0.
la tension de contact maximum sur M1 sera: $Uc1 = If \times Rde = 5594 \times 0.018 = 101\ V$
et sur M2 sera: $Uc2 = If \times Rfg = 5594 \times 0.018 = 101\ V$
et la tension entre M1 et M2 $Uc3 = If \times (Rde + Ref + Rfg) = 5594 \times 0.0365 = 204\ V$

Admettons pour la suite de l'exemple que le fusible en tête coupe dans un temps de sécurité correspondant à ces tensions de contact pour 5594 A soit Ifus = 5594 A

B.) Vérification des conditions de déclenchement suivant la norme

$m = Sph/Spe = 90/50 = 1.8$

$$L_{\max} = \frac{0,8.U.S_{ph}}{2.p.(1+m).I_{fus}} = \frac{0,8 \times 400 \times 90}{2 \times 22,5 \times 2,8 \times 5594} = 0,041$$

Lmax dans cette formule est exprimée en km

soit une longueur de canalisation max de 41 m pour Ifus = 5594 A

ce qui donne $U_c = \frac{0,4.U_m}{1+m} = 103\ V$

Conclusion de l'exemple :

Dans l'exemple ci-dessus le calcul du courant de défaut (suivant ch III.B.1.a) et la vérification des conditions de déclenchement suivant la norme, donnent les mêmes résultats, compte tenu que les hypothèses sont identiques. Il s'agit d'une manière différente d'exprimer les calculs (dans la première méthode effectuée en courant, la valeur calculée devant être inférieure au courant de fonctionnement du disjoncteur ou fusible, alors que la norme définit une impédance maximum sous la forme d'une longueur maximum de canalisation).
Dans le cas d'hypothèses différentes (en tenant compte de l'impédance réelle de source par exemple) les résultats peuvent être légèrement différents.
La valeur calculée en courant (suivant ch III.B.1.a) servira donc à la définition du disjoncteur ou fusible, alors que la vérification des conditions de déclenchement servira à la vérification de conformité avec la norme.

II.)Cas du neutre distribué :

$$L_{\max} = \frac{0,8.V.S_{ph}}{2.p.(1+m).I_{mag}} = \frac{0,8.V.S_{ph}}{2.p.(1+m).I_{fus}}$$

ce qui donne $U_c = \frac{0,4.V_m}{1+m}$

Avec:

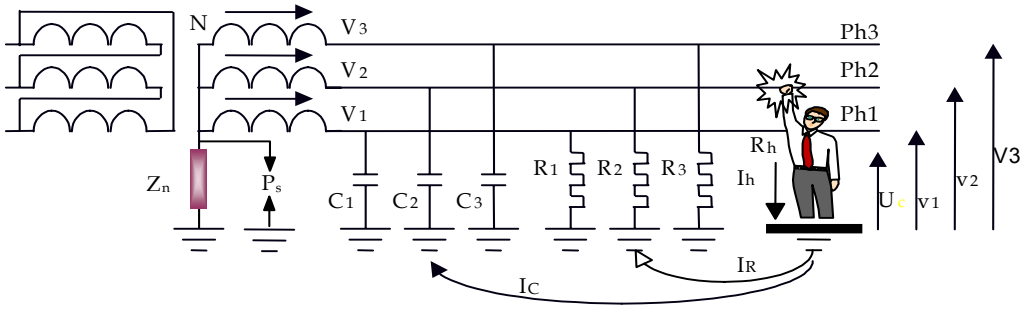
Lmax	=	longueur maximale de la canalisation (en km)
V	=	tension nominale entre phases et neutre (en Volt)
Sph	=	section du conducteur de phases (en mm^2)
p	=	résistivité du conducteur pour le cuivre = 22.5 Ω/km
m	=	rapport Sph / Spe
Spe	=	section du conducteur de protection (en mm^2)
Imag	=	courant de fonctionnement du magnétique du disjoncteur
Ifus	=	courant de fonctionnement du fusible (dans le temps correspondant à Uc)

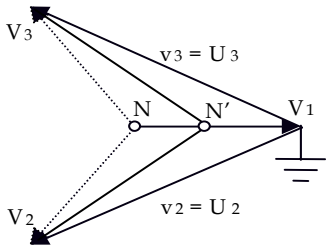
Conclusions sur le schéma "IT" NEUTRE ISOLE:

- Poste obligatoirement privé.
- Permet la continuité de service (non nécessité de couper l'alimentation au premier défaut) mais obligation de le rechercher d'où :
- Nécessité de disposer de personnel d'exploitation pour localiser le défaut.
- Obligations légales :
  - Toutes les masses doivent être reliées à un même conducteur de protection PE car nécessité de réaliser l'équipotentialité des masses (en cas d'impossibilité, obligation d'installer des Dispositifs Résiduels) .
  - Toutes les masses simultanément accessibles doivent être reliées à la même prise de terre.
  - La résistance des prises de terre doit satisfaire à l'inéquation : Rm < Ul / If.
  - Longueurs maximales de canalisation.
- Obligations pratiques :
  - Recommandation de ne pas distribuer le neutre pour les grandes installations (nécessité d'augmenter la section des conducteurs).
  - Matériels à installer :
- Contrôleur Permanent d'Isolement (détection 1er défaut).
- Limiteur de surtension (voir chapitre ci-après).
- Localisateur de défaut (élimination 1er défaut).
- Dispositifs de protection contre les surintensités (élimination 2ème défaut par disjoncteur ou fusibles avec Imag ou Ifus < If) lorsque les masses sont interconnectées.
- Dispositifs Résiduels protégeant chaque groupe de masses interconnectées.

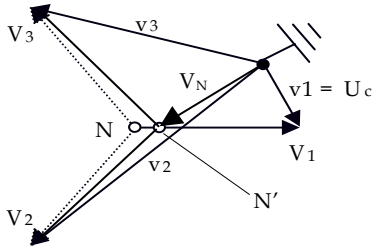
2. Neutre Impédant (Impédance de Limitation) "IT"

Réseau fortement impédant





réseau de faible étendue



réseau très étendu

La norme intègre ce schéma à Neutre Impédant, et ne fait donc pas de différence, avec le schéma à Neutre Isolé.
Le neutre physique d'une telle installation est relié à la terre par l'intermédiaire d'une impédance (Zn) limitant, en cas de 1er défaut à la terre, le courant Id à une valeur inférieure à 0.5 A.
En général le courant Id est limité de 0.1 A à 0.5 A, soit une impédance Zn de plusieurs centaines d'Ohms.
La tension limite Ul ne doit pas être atteinte pour ce courant Id, ceci définit la valeur minimum de Zn.
Le conducteur de neutre n'est pas généralement distribué et les masses métalliques de l'installation sont reliées à un conducteur de protection PE, mis à la terre.

a) Description avec calculs

Dans un tel défaut, en absence de défaut, le potentiel du neutre est celui de la terre.
En cas de défaut monophasé, le courant de défaut (Id) va être constitué du courant capacitif (Idc = 3 Vn Cw) des départs sains (voir Neutre Isolé) et du courant limité par l'impédance dans le neutre (In)

$$I_n = \frac{U_n}{\sqrt{3} \times (Z_n + R_m + R_n)}$$

Dans laquelle:

Un	=	tension nominale entre phases
Zn	=	Impédance dans le neutre
Rm	=	Résistance de la prise de terre des masses métalliques
Rn	=	Résistance de la prise de terre du neutre

$$Id = Idc + In$$

et Uc = Id x Rm (Uc doit être inférieure à Ul)

A titre d'exemple (pour le premier défaut) avec Zn (résistance) = 600 Ω, 5 km de câbles (capacité par phase de 0.25 μ/km), Un = 400 V, 50 Hz, Rm = Rn = 15 Ω

Idc = 5 x 3 x 400/√3 x 0.25 x 10^{-6} x 314 = 0.272 A

In = 400/√3 / (600 + 15 + 15) = 0.367 A
Id = Idc + In = √(0.272^2 + O.367^2)= 0.46 A

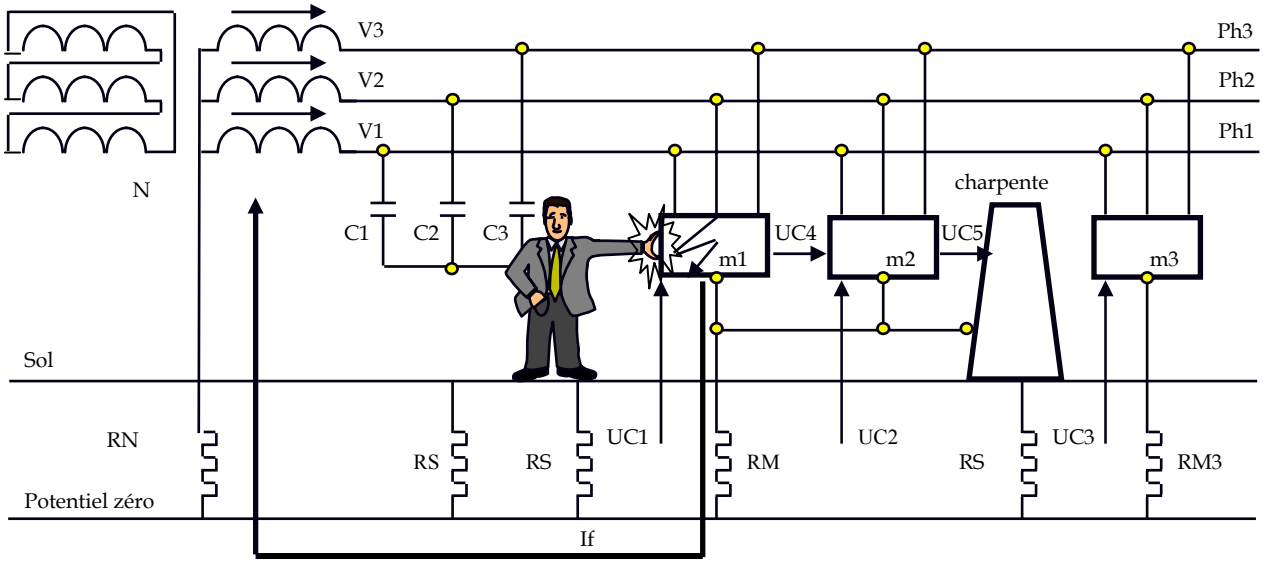
et Uc = 0.46 x 15 = 7 V donc non dangereuse, donc peut être maintenue en permanence.

Pour des raisons d'exploitation (le réseau est en défaut d'où nécessité de l'éliminer) et de sécurité : un second défaut sur une phase différente (ou sur le neutre lorsque celui-ci est distribué) devenant dangereux, le premier défaut sera recherché et éliminé.
La localisation sera plus aisée, car le départ en défaut mesurera, par l'intermédiaire d'un tore homopolaire, I_d-I_{dcdf}
(I_{dcdf} étant le courant capacitif du départ en défaut) et le courant de défaut mesuré sera de l'ordre de In, donc facilement mesurable.
Le deuxième défaut ne faisant pas intervenir le Régime du Neutre dans les calculs les démonstrations du Régime du Neutre Isolé reste valable (voir chapitre III.B.1.a sur le deuxième défaut).

b) Obligations Légales

La norme ne fait pas de différence entre le Régime du Neutre Isolé et le Régime du Neutre Impédant. Le chapitre III.B.1.b est valable dans son intégralité.

3. Neutre Direct à la Terre, Masses à la Terre "TT"



Ce schéma est imposé pour une installation alimentée par un réseau public. Le transformateur MT/BT, ayant son neutre BT mis directement à la terre, appartient au Distributeur d'électricité.
Le conducteur de neutre est généralement distribué.
Les masses métalliques de l'installation sont reliées à un conducteur de protection PE, mis à la terre.
En pratique la prise de terre du neutre Rn et la prise de terre des masses Rm sont physiquement séparés, la norme prévoit le cas où celles-ci ne seraient pas distinctes (ch. 312.2.2 " Même lorsque les prises de terre du neutre et des masses se trouvent confondues, le schéma demeure un schéma TT si toutes les règles du schéma TN ne sont pas respectées. Autrement dit, dans de tels cas on ne tient pas compte des liaisons entre les prises de terre pour la détermination des conditions de protection.")

Description avec calculs

En cas de défaut d'isolement entre une phase et une masse métallique (1er défaut), le courant de défaut n'est limité que par Rm et Rn (cas du défaut franc)

$$Id = \frac{0.8\ Un}{\sqrt{3}\ x\ (Rm + Rn)}$$

$$Uc = Id\ x\ Rm$$

Dans lesquelles :

Id	=	courant de défaut
Un	=	tension nominale entre phases
Rm	=	résistance de la prise de terre des masses métalliques
Rn	=	résistance de la prise de terre du neutre du transformateur

exemple :

Un = 400 V, Rm = 15 Ω, Rn = 15 Ω

$$Id = \frac{0.8 \times 400}{\sqrt{3} \times (15 + 15)} = 6.2\ A$$

Uc = 6.2 x 15 = 93 V donc dangereuse d'où nécessité de déclenchement au 1er défaut.

Nota :

Le cas du défaut présentant une résistance de défaut (Rd) est moins pénalisant :

$$Id = \frac{0.8\ x\ Un}{\sqrt{3}\ x\ (Rm + Rn + Rd)}$$

$$Uc = Id\ x\ Rm$$

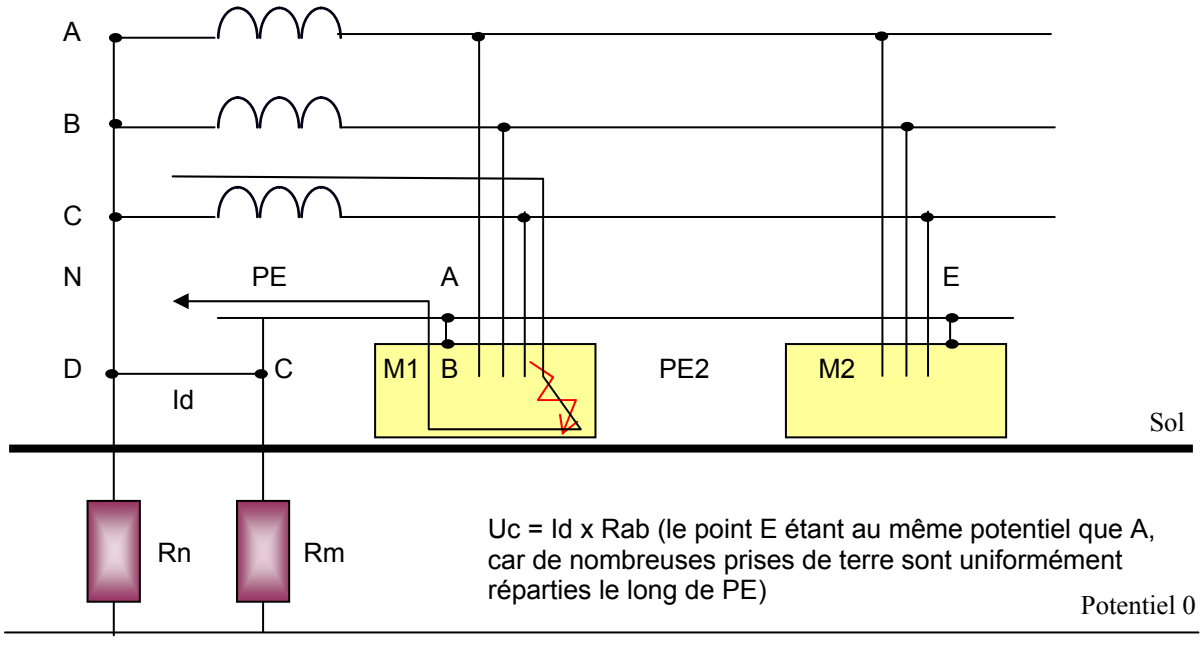
en prenant les valeurs de l'exemple ci-dessus:

Un = 400 V, Rm = 15 Ω, Rn = 15 Ω, Rd = 5 Ω

$$Id = \frac{0.8 \times 400}{\sqrt{3}\ x\ (15 + 15 + 5)} = 5.3\ A$$

Uc = 5.3 x 15 = 79 V donc inférieure à la valeur lorsque le défaut est franc mais dangereuse.

Le contact entre 2 masses M1 & M2, dont M1 est soumise à un défaut et M2 est saine, ne présente pas de danger :



exemple :

Liaison AB = 50 m en 50^2 soit Rab = 0.0225 Ω
en prenant comme dans l'exemple précédent Id = 6.2 A
Uc = 6.2 x 0.0225
Uc = 0.2 V DONC NON DANGEREUSE

Dans un schéma "TT", lorsque la connexion CD existe de fait (car le neutre du transformateur est mis à la terre au même point que le conducteur de protection) le courant de défaut va être très important et se calcule de la même manière que pour le schéma "TN". Ce courant de défaut n'est limité que par la boucle d'alimentation de ce défaut (voir calcul du courant de défaut shéma "TN" ci-après).
Dans un tel cas (connexion CD existe de fait), lorsque toutes les conditions du schéma "TN" ne sont pas respectées (par exemple la vérification des longueurs maximales de canalisation), la norme impose de considérer ce schéma comme un schéma "TT".

Le courant de défaut est un courant différentiel (résiduel) et la norme le symbolise par Idn. Dans la formule Uc = Idn x Rm, les valeurs de Uc sont imposées et correspondent à Ul (50 V ou 25 V), il est donc possible de faire un tableau de choix de la sensibilité des dispositifs différentiels à courant résiduel en fonction de la seule variable :
Rm pour les 2 tensions Ul, Idn < Uc / Rm
Le tableau 53 GD de la norme récapitule ces valeurs pour 50 V

Idn	Rm <
20 A	2.5 Ω
10 A	5 Ω
5 A	10 Ω
3 A	17 Ω
1 A	50 Ω
500 mA	100 Ω
300 mA	167 Ω
30 mA	> 500 Ω

Le schéma "TT" simple à mettre en oeuvre peut poser des problèmes de "sélectivité" dans le cas d'une installation nécessitant plusieurs niveaux de protection : la protection la plus en aval détectant le défaut doit l'éliminer, la protection en amont surveillant plusieurs départs sert de secours pour celles en aval.

Sélectivité Verticale

sera du type : ampèremétrique et chronologique

La protection aval sera réglée à Idn1 (conformément au tableau ci-dessus) et $Idn1 > 2 \times Ic$
Ic étant l'apport de courant de défaut, d- aux capacités, du départ considéré $Ic = l \times 3\ Vn \times C \times \omega$
Dans laquelle :

l	=	longueur (en km) du départ considéré
Vn	=	tension nominale simple (phase-neutre)
C	=	capacité du càble par km (en F)
ω	=	pulsation du courant = 314 à 50 Hz

La protection aval ne sera pas obligatoirement temporisée, son temps t1 correspond au temps de fonctionnement du dispositif à courant différentiel résiduel.

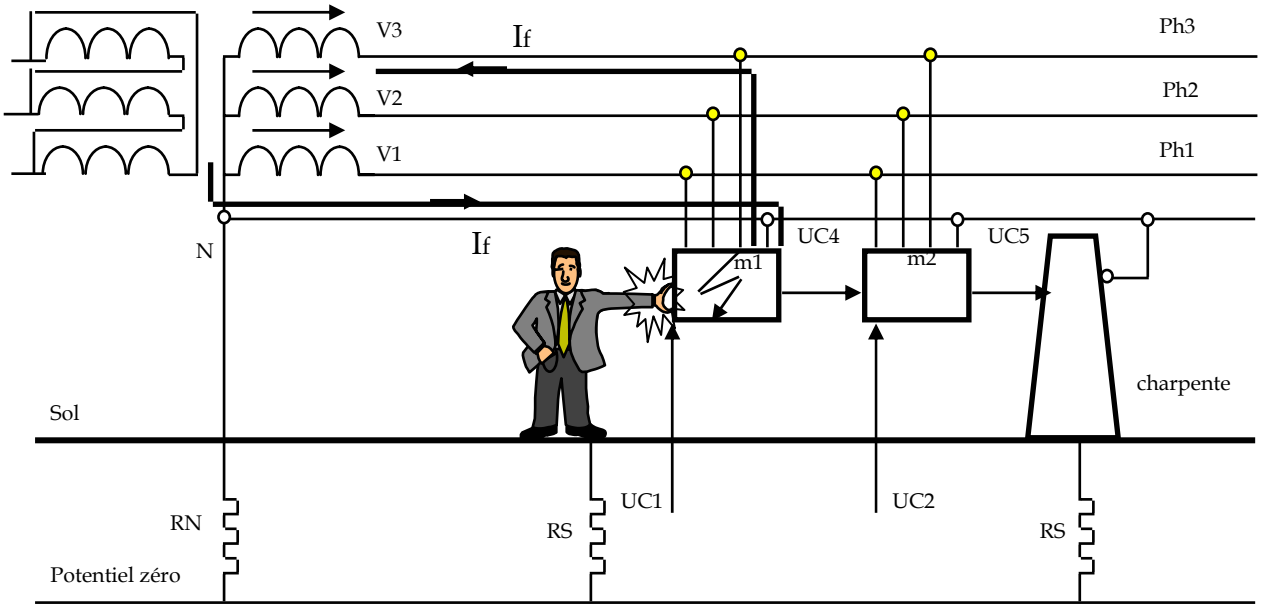
La protection amont sera réglée à Idn2 (conformément au tableau ci-dessus) et $Idn2 > 2 \times Idn1$
Elle sera obligatoirement temporisée, d'un temps t2 correspond au temps :
t1 + temps de coupure du disjoncteur aval + temps de sécurité de 50 ms.

Sélectivité Horizontale

La norme autorise, lorsque tous les disjoncteurs sont dans la même armoire (ou tableau), de ne pas prévoir de dispositif à courant différentiel résiduel en amont.

a) Obligations Légales

- La norme impose la coupure au premier défaut.
- Toutes les masses protégées par un même dispositif à courant différentiel résiduel doivent être reliées à la même prise de terre.
- Les masses simultanément accessibles doivent être reliées à la même prise de terre.
- La protection des personnes contre les contacts indirects sera, de préférence assurée par un dispositif à courant différentiel résiduel.
- La norme autorise la protection des personnes contre les contacts indirects par des dispositifs de protection contre les surintensités.
- Dans une installation qui ne comporterait qu'une seule prise de terre et si toutes les masses sont reliées à cette seule prise de terre un seul dispositif à courant différentiel résiduel (placé en amont) est suffisant.
- Par contre lorsque les prises de terre sont séparées, il est nécessaire de prévoir un dispositif à courant différentiel résiduel par ensemble de circuits reliés à cette prise de terre
- La norme prévoit un certain nombre de mesures particulières qui impose un dispositif à courant différentiel résiduel de haute sensibilité (au plus égal à 30 mA). Il faut citer les prises de courant < 32 A, les enceintes humides (salles d'eau et piscines), lorsqu'il y risque mécanique de coupure du conducteur de protection PE (cas des chantiers par exemple).



4. Neutre Direct à la Terre, Mise au Neutre des Masses "TN"

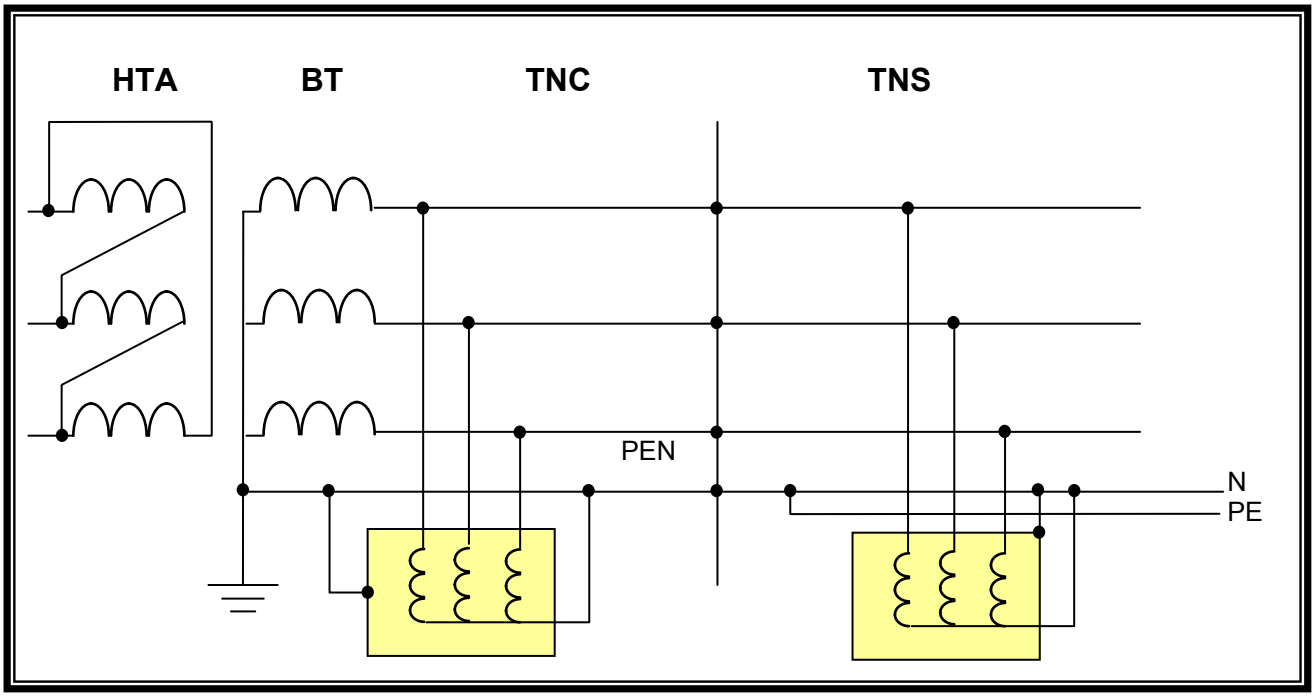
Ce chapitre regroupe les 3 schémas possibles (voir chap. III.A. ci-dessus) à savoir : TNC, TNS, TNC-S.
Le schéma TNC où le conducteur de neutre (actif) et le conducteur de protection (PE) sont confondus (dénomination PEN) comporte la particularité suivante :
la fonction "conducteur de protection" est plus importante que la fonction "conducteur de neutre", en conséquence le conducteur PEN ne doit comporter aucun circuit de protection.
Le conducteur PEN ne doit pas être commun à plusieurs circuits.
Les masses métalliques de l'installation sont reliées au conducteur de protection PEN, mis à la terre.
Les prises de terre doivent être réparties, uniformément, tout au long de PEN, de manière à ce que le conducteur PEN soit le plus près possible au potentiel de la terre.
Le conducteur PEN doit cheminer dans le même canal que les conducteurs actifs des circuits correspondants.
Le type de schéma (TNC ou TNS) est indifférent dans le cas des réseaux très étendus avec bonnes prises de terre (< 10 Ω), perturbés par des orages, à fort courant de fuite (> 0.5 A), comportant des récepteurs à faible isolement (ex : four), à risques (ex : convoyeur), de type électroniques (ex : calculateurs)

Particularités des différents schémas :

TNC :
Ce schéma plus économique impose des canalisations fixes.
Ce schéma est interdit pour toutes sections < 10^2 dans le cas de conducteurs en cuivre, et < 16^2 dans le cas de conducteurs en aluminium.

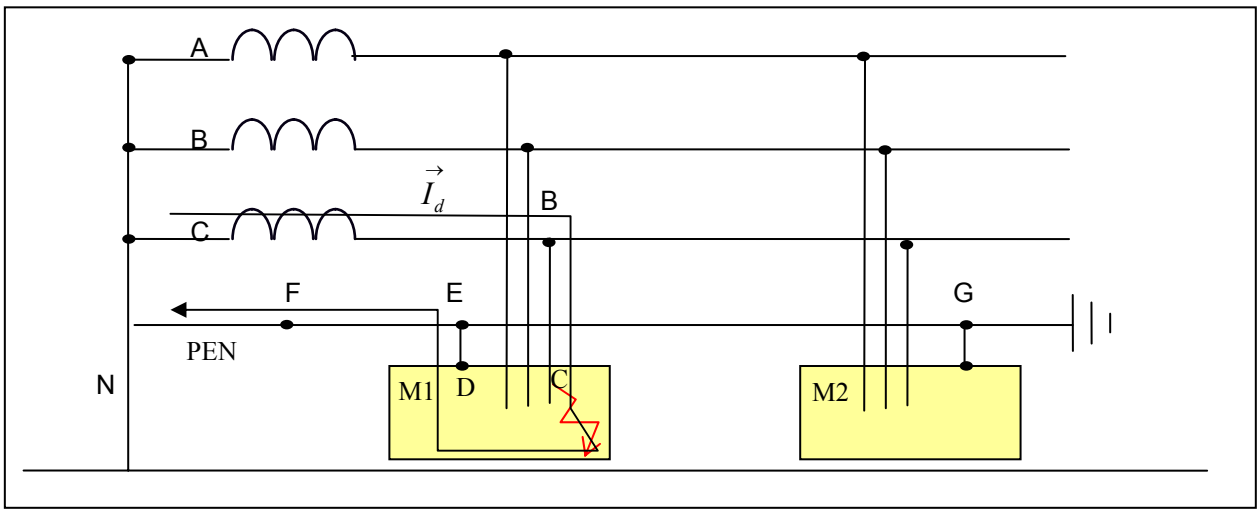
TNS :
Il permet des canalisations mobiles.
Ce schéma est obligatoire pour toutes sections < 10^2 dans le cas de conducteurs en cuivre, et < 16^2 dans le cas de conducteurs en aluminium.
Il est recommandé pour les réseaux très étendus avec mauvaises prises de terre (>30 Ω), en présence de nombreux récepteurs monophasés, dans les installations ou la continuité des circuits de terre peut être accidentellement interrompue (ex : chantiers), et dans les locaux à risques (incendie ou explosion).

TNC-S
Le schéma TNC doit être obligatoirement en amont du schéma TNS.



a) Description avec calculs

Le courant de défaut, entre une phase et la masse, se referme par le neutre et devient donc un courant de court-circuit phase-neutre



Le courant de défaut Id n'est limité que par l'impédance de la boucle ABCDEF.

$$Id = \frac{U}{\sqrt{3} \times Rb}$$

Rb étant la résistance de la boucle ABCDEF.
La norme impose pour faire le calcul de prendre U = 0.8 Un

La tension Uc = Rde x Id

La tension entre les masses M1 (en défaut) et M2 (saine) est négligeable, les points E et G étant sensiblement au même potentiel du fait que des prises de terre sont réparties uniformément le long de PEN.

exemple (avec un défaut franc Rcd = 0, et Un = 400 V) :

AB	=	10 m	en	90^2	d'où	Rab	=	0.0025 Ω
BC	=	30 m	en	30^2	d'où	Rbc	=	0.0225 Ω
DE	=	30 m	en	50^2	d'où	Rde	=	0.0135 Ω
EF	=	10 m	en	90^2	d'où	Ref	=	0.0025 Ω
Rb	=	0.0025 + 0.0225 + 0.0135 + 0.0025					=	0.041 Ω

$$Id = \frac{400 \times 0.8}{\sqrt{3} \times 0.041} = 4506\ A$$

La tension Uc = 0.0135 x 4506 = 61 V donc dangereuse

b) Obligations Légales

- La norme impose la coupure au premier défaut
- La protection des personnes contre les contacts indirects se fera par des dispositifs de protection contre les surintensités
- Le conducteur PEN doit cheminer dans le même canal que les conducteurs actifs des circuits correspondants
- Les prises de terre doivent être réparties, uniformément, tout au long de PEN, de manière à ce que le conducteur PEN soit le plus près possible au potentiel de la terre.
- La norme impose de faire la vérification des conditions de déclenchement (contre les contacts indirects)
- La vérification est faite, pour chaque départ pris séparemment, que le courant de défaut minimum, à l'extrémité de ligne, provoque le déclenchement de l'organe de coupure (disjoncteur réglé à Imag ou fusible à Ifus).
- Les conditions de calcul et de vérification sont les suivantes :
  - tension de calcul prise à 80 % de la tension nominale
  - réactance des conducteurs négligée, moyennant la prise en compte d'un coefficient de surdimensionnement lorsque la section est supérieure à 120^2 (voir chapitre II.C.2 pour les valeurs à retenir)
  - les sections des conducteurs de phase Sph et de protection Spe sont les mêmes sur toute la longueur, ce qui permet de définir un rapport m = Sph / Spe
  - application d'une formule définissant une longueur de départ maximale, et vérification que le départ considéré à une longueur inférieure :

$$L_{\max} = \frac{0{,}8.V_n}{\rho.(1+m).I_{mag}} = \frac{0{,}8.V_n}{\rho.(1+m).I_{fus}}$$

ce qui donne $U_c = \frac{0,4.V_m}{1+m}$

avec:

Lmax	=	longueur maximale de la canalisation (en km)
V	=	tension nominale phase-neutre (en Volt)
Sph	=	section du conducteur de phases (en mm^2)
p	=	résistivité du conducteur, pour le cuivre = 22.5 Ω/km
m	=	rapport Sph / Spe
Spe	=	section du conducteur de protection (en mm^2)
Imag	=	courant de fonctionnement du magnétique du disjoncteur
Ifus	=	courant de fonctionnement du fusible (dans le temps correspodant à Uc)

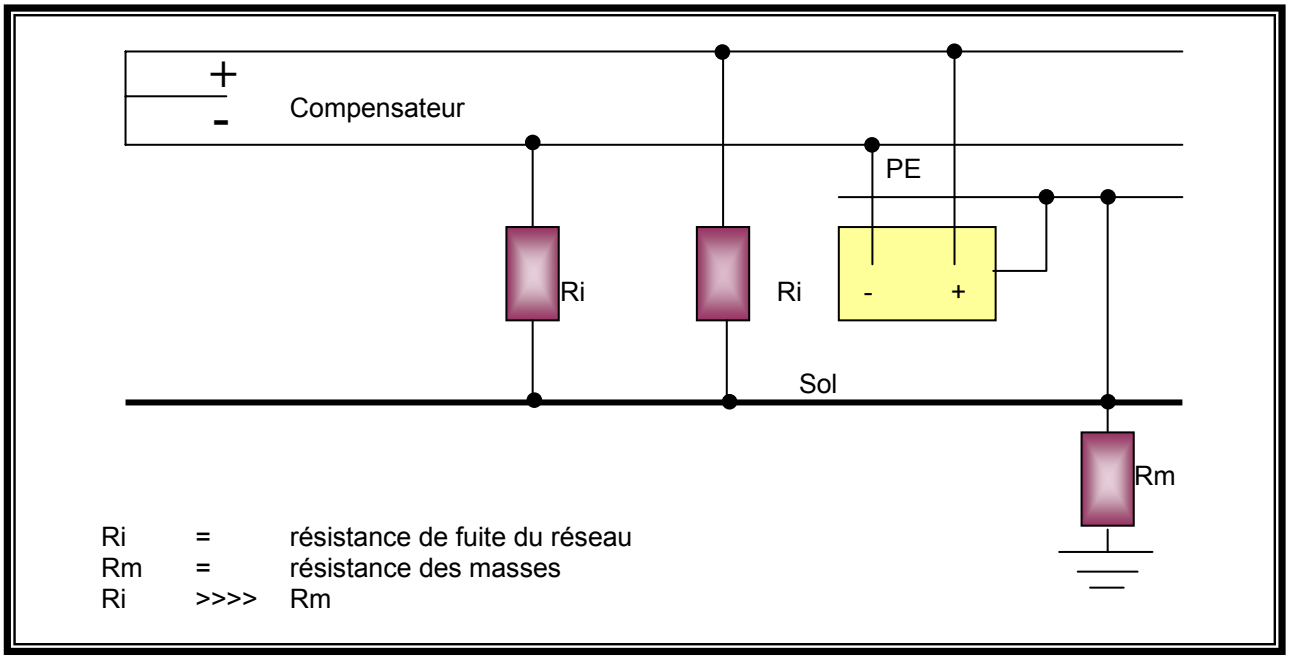
NOTA :
DANS LE CAS OU CETTE LONGUEUR MAXIMALE DE CANALISATION NE POURRAIT ETRE RESPECTEE, IL EST NECESSAIRE DE PREVOIR LES DISPOSTIFS A COURANT DIFFERENTIEL RESIDUEL (SCHEMA "TT") POUR ASSURER LA PROTECTION DES PERSONNES CONTRE LES CONTACTS INDIRECTS.

IV. Réseau à Courant Continu Isolé

La norme est moins explicite en ce qui concerne les réseaux à courant continu, et seuls quelques chapitres traitent du sujet avec une notion "d'équivalence".
Aucun chapitre ne définit les précautions à prendre, le texte ci-après est traité dans "l'esprit" de la norme, car de toutes façons la protection des personnes doit être assurée.
Le courant continu est jugé moins dangereux que le courant alternatif, mais la protection contre les contacts indirects doit être assurée.
Le courant continu procure une sensation de chaleur (par opposition au courant alternatif à fréquence industrielle qui procure une sensation de picotement, puis crispation musculaire,
puis contractions musculaires, puis risque de fibrillation.)

A. Description avec calculs

Le réseau se présente de la manière suivante :



En cas de défaut d'isolement entre une polarité et la masse, le courant de défaut Id est limité par Ri de la polarité saine (Ri de la polarité en défaut se trouve court-circuité et Rm est négligeable devant Ri)

$$Id = \frac{U}{Ri}$$

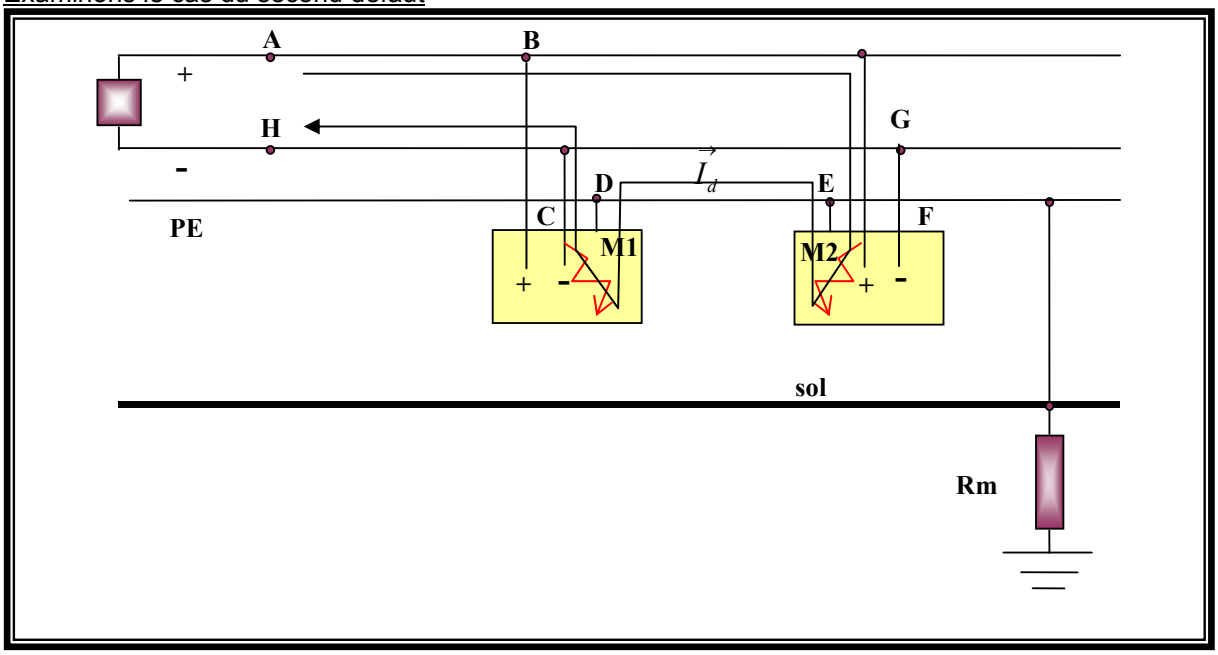
et $Uc = Rm \times Id$

exemple :
U = 125 V, Ri = 250 kΩ, Rm = 50 Ω
Id = (125 / 250) x 10^{-3} = 0.5 mA
Uc = 50 x 0.5 x 10^{-3} = 0.05 V

Uc est inférieure à Ul, donc non dangereuse et peut être maintenue en permanence.

Pour des réseaux d'exploitation (le réseau est en défaut d'où nécessité de l'éliminer) et de sécurité : un deuxième défaut sur l'autre polarité devenant dangereux, le premier défaut sera recherché et éliminé.

Examinons le cas du second défaut



Il va circuler un second courant de défaut Id2 entre les masses métalliques M1 et M2.
Le courant de défaut Id n'est limité que par l'impédance de la boucle ABCDEFGH.

$$Id = \frac{U}{Rb}$$

Rb étant la résistance de la boucle ABCDEFGH.

La tension entre les masses M1 & M2 *Uc = Rcdef x Id*

Exemple: (avec un défaut franc Rcd = 0, Un = 250 V, la section des conducteurs actifs et de protection étant de 16^2, les longueurs AB, DE, GH sont négligeables et BC = CD = EF = FG = 30 m) :

BC	=	30 m en 16^2	d'où	Rbc = 0.0422 Ω
Rb	=	4 x 0.0422	=	0.169 Ω
Id	=	(250 x 0.8) / 0.169 =		1185 A

La tension de contact Uc1 entre la masse métallique M1 et le conducteur de protection sera :
Uc1 = Rcd x Id = 0.0422 x 1185 = 50 V donc dangereuse

La tension de contact Uc2 entre la masse métallique M2 et le conducteur de protection sera :
Uc1 = Ref x Id = 0.0422 x 1185 = 50 V donc dangereuse

La tension de contact Uc3 entre les masses métalliques M1 et M2 sera :
Uc3 = Rcf x Id = 0.0844 x 1185 = 100 V donc dangereuse

B. Obligations Légales "dans l'esprit de la norme"

- Toutes les masses métalliques sont reliées à un conducteur de protection PE, mis à la terre.
- Exception faite du temps de déclenchement différent, le réseau à courant continu isolé peut être assimilé au schéma "IT", neutre non distribué, et il sera nécessaire de couper l'alimentation au second défaut (par une protection de surintensité).

- Il est nécessaire de contrôler en permanence l'isolement du réseau(emploi du Contrôleur Permanent d'Isolement dit "CPI")
- Il est recommandé que le dispositif un seuil de pré-alarme temporisé permettant d'informer l'exploitant d'un début d'anomalie. Ce seuil pourra être réglé, par exemple, à 250 kΩ (correspondant à 50 % de la résistance d'isolement d'une installation neuve dont la résistance d'isolement pour une tension d'alimentation < 500 V doit être > 500 kΩ) et avec une temporisation pour s'affranchir des phénomènes transtoires.
- Le seuil de fonctionnement du "CPI" pourra être de 50 kΩ à 100 kΩ (valeur de 20 % de l'isolement permanent préconisé par la norme chap.532.4.3).
- Le premier défaut ne présentant pas de caractère dangereux, il n'est pas imposé la coupure, mais la recherche rapide de ce défaut pour élimination.
- Ce type d'installation impose donc, dans l'esprit, un personnel d'exploitation pour effectuer cette recherche (localisation).
- La localisation du départ en défaut sera soit manuelle par ouverture successive et refermeture des départs, soit automatique
- Dans ce dernier cas, un générateur TBF (de quelques Hertzs) sera
- connecté entre la polarité saine et la terre. Cette mise à la terre volontaire ne devra pas entraînée un courant de défaut incompatible avec la tension Ul.
- Chaque départ sera équipé d'un tore résiduel alimentant un dispositif de mesure sensible au courant TBF.
- Le départ en défaut sera le seul à être traversé par un courant TBF.

Il sera nécessaire de procéder au calcul et la vérification des conditions de déclenchement (contre les contacts indirects) :
La vérification est faite, pour chaque départ pris séparemment, que le courant de défaut minimum, à l'extrémité de ligne, provoque le déclenchement de l'organe de coupure (disjoncteur réglé à Imag ou fusible à Ifus), ou que la longueur de canalisation est telle que le courant de court-circuit en limite de ligne est suffisant pour faire déclencher l'organe de coupure en tête :

$$L_{max} = \frac{U_{Sph}}{p\,(1+m)\,I_{mag}} = \frac{U_{Sph}}{p\,(1+m)\,I_{fus}}$$

$$U_c = \frac{U_m}{1+m}$$

avec

Lmax	=	longueur maximale de la canalisation (en km)
U	=	tension nominale
Sph	=	section du conducteur de polarité (en mm^2)
p	=	résistivité du conducteur pour le cuivre = 22.5 Ω/km
m	=	rapport Sph / Spe
Spe	=	section du conducteur de protection (en mm^2)
Imag	=	courant de fonctionnement du magnétique du disjoncteur
Ifus	=	courant de fonctionnement du fusible (dans le temps correspondant à Uc)

Extrapolation à un réseau courant continu dont une polarité est intentionnellement mis à la masse :
Dans un tel réseau, le Contrôleur Permanent d'Isolement est inutilisable, et le premier défaut intéressant la polarité isolée provoquera un court-circuit identique au second défaut du réseau à courant continu isolé.
Il sera impératif de couper au premier défaut.
Les mêmes calcul et vérification de longueur maximale de canalisation seront effectués, en utilisant la même formule que ci-dessus.

V. Principes de Fonctionnement des Dispositifs de Protection

En résumé, la norme définit des règles ayant pour but d'assurer la protection des personnes contre les dangers électriques.
Ceux-ci ont pour origine les contacts directs avec les conducteurs sous tension (la norme prévoit des obstacles physiques interdisant pratiquement ces contacts directs) et les contacts indirects avec une masse métallique mis accidentellement sous tension, par suite d'un défaut d'isolement (la norme prévoyant alors un certain nombre de règles pour rendre ce contact indirect non dangereux pour la personne).
La seule grandeur quantifiée, par la norme, est la Tension Limite c'est à dire la tension que peut supporter le corps humain sans dangers (pendant un temps donné)

A. Mesure de la Tension de Contact

Il peut paraître, à priori, simple de réaliser un dispositif de mesure de tension de contact (entre une masse métallique et la terre) avec une caractéristique à temps dépendant, reproduisant les temps d'élimination préconisée par la norme.
Après la parution du décret du 14/11/62, certains constructeurs (COMPAGNIE DES COMPTEURS notamment) se sont intéressés à la réalisation d'un tel dispositif.
La difficulté n'a pas été la réalisation d'un tel relais, mais sa mise en oeuvre.
La tension mesurée se réfère au potentiel de la masse (accessible donc sans problème) et à une terre distincte dont le potentiel relativement bas permet de la considérer comme distincte (voir chap. II.A.2.a.).
La difficulté provient de l'établissement correcte de cette terre distincte auxilliaire, qui en pratique peut se situer à plusieurs dizaines de mètres du bâtiment.
L'écoulement d'un courant de défaut, par une prise de terre, ne doit pas modifier (sensiblement) le potentiel de cette prise de terre auxiliaire.
Devant les difficultés rencontrés ce principe de mesure a été abandonnée.

B. Contrôleur Permanent d'Isolement

Lorsque le neutre est isolé (tension alternative) ou les conducteurs sont isolés (tension continue), le réseau sera surveillé par un contrôleur d'isolement.

Principe :

a) injection de courant continu (applicable aux réseaux alternatifs ne comportant pas d'éléments courant continu :

Un générateur courant continu injecte une tension de quelques Volts entre un point du réseau et la terre (Neutre du Transformateur de Puissance lorsque celui-ci est accessible, ou une phase lorsque celui-ci ne l'est pas ou par l'intermédiaire d'un neutre artificiel.
Celui-ci est composé de 3 Impédances raccordées en étoile et dont le point commun (neutre) est mis à la terre. Un circuit détecteur mesure le courant débité par ce générateur, celui-ci correspond à la somme des courants de fuite des 3 phases donc de l'isolement du réseau.
Le CPI, par injection de courant continu est insensible à l'impédance capacitive du réseau, en effet les câbles présentent une capacité C (de l'ordre de 0.25 μF par km), pour une longueur l, l'impédance correspondante est

$$Zc = \frac{1}{C \times l \times 6.28 \times f}$$

f = 0 (courant continu) entraîne Zc égal à l'infini.
Le CPI dispose d'un bouton de test permettant de simuler une baisse d'isolement et de vérifier ainsi son fonctionnement.

Le CPI dispose d'un seuil de signalisation (réglé à la moitié de l'isolement normal du réseau) d'un seuil de déclenchement significatif d'un défaut et éventuellement d'un afficheur permettant de suivre l'évolution de l'isolement du réseau.
Il doit être associé à un parasurtenseur (voir chapitre ci-après) et doit être unique dans un réseau
Plusieurs CPI sur le même réseau injecteraient une tension et la mesure serait faussée.

Nota :
Dans le cas où un réseau fonctionnerait avec plusieurs sous-réseaux séparés alimentés chacun par un transformateur isolé (non mis en parallèle), il est nécessaire de prévoir 1 CPI + 1 parasurtenseur par transformateur de puissance.

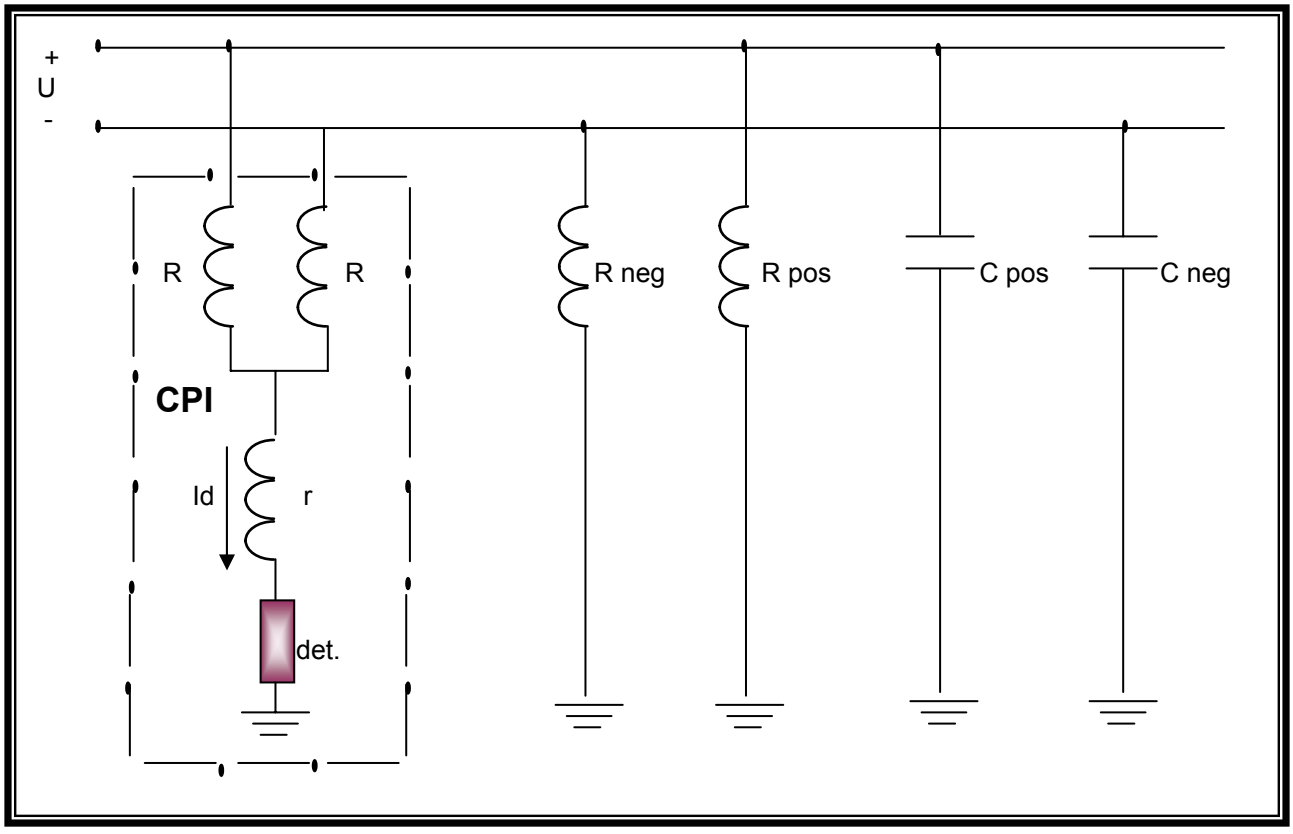
Dans le cas où un réseau fonctionnerait avec plusieurs transformateurs en parallèles, il est nécessaire de prévoir 1 CPI pour l'ensemble du réseau + 1 parasurtenseur par transformateur de puissance.

Dans le cas où un réseau pourrait fonctionner indifféremment suivant les 2 exploitations ci-dessus, il est nécessaire de prévoir 1 CPI par transformateur + 1 automatisme ne laissant qu'un seul CPI en service lorsque les transformateurs sont en parallèles + 1 parasurtenseur par transformateur de puissance.

b) mesure du courant de fuite du courant continu (applicable aux réseaux courant continu) :

La mesure est effectuée au travers d'une résistance mise à la terre à une extrémité, l'autre extrémité étant raccordée aux 2 polarités par l'intermédiaire de 2 résistances (montage potentiométrique), le courant de fuite ainsi mesuré est influencé par le niveau d'isolement de la polarité saine.

CPI POUR COURANT CONTINU :
SENSIBILITE MONTAGE POTENTIOMETRE



Dans laquelle :

R, r = Résistances internes du CPI suivant montage ci-dessus.
Id = Courant dans l'élément détecteur assurant le seuil
U = Tension du réseau courant continu
R neg = Résistance du défaut sur la polarité négative permettant le fonctionnement du CPI
R pos = Résistance du défaut sur la polarité positive permettant le fonctionnement du CPI
C pos = Capacité répartie du réseau sur la polarité positive
C neg = Capacité répartie du réseau sur la polarité négative

- Le seuil de fonctionnement est donné par les formules
  - Polarité positive :

$$R_{pos} = \frac{\frac{U - i_d.(2.r + R)}{2.i_d} + R_{neg}}{\frac{U + i_d.(2.r + R)}{2.i_d} + R_{neg}}$$

  - Polarité négative :

$$R_{neg} = \frac{\frac{U - i_d.(2.r + R)}{2.i_d} + R_{pos}}{\frac{U + i_d.(2.r + R)}{2.i_d} + R_{pos}}$$

- Le temps de réponse du CPI, ne doit pas être trop long. Il doit permettre de laisser passer le phénomène de charge, à l'enclenchement du réseau, des capacités réparties C pos et C neg.
  Le non fonctionnement du CPI sur courant capacitif d'enclenchement doit être assuré.

c) injection de courant alternatif d'une fréquence TBF (applicables aux réseaux alternatif, courant continu ou mixte) :

1) Un générateur TBF injecte une tension de quelques Volts compatibles avec la tension limite Ul.

Un circuit détecteur mesure le courant débité par ce générateur à cette seule fréquence TBF (filtrage), celui-ci correspond au courant de fuite des 3 phases donc de l'isolement.

2) choix de la fréquence du générateur TBF :

Celle-ci est choisie dans la bande 3 à 20 Hz.
A une très basse fréquence correspond une facilité de réaliser le circuit détecteur (insensibilité à la capacité du réseau), mais relative difficulté à réaliser le générateur TBF (filtrage notamment).
A une fréquence à la limite supérieure de la bande correspond une facilité de réaliser le générateur mais relative difficulté à réaliser le détecteur (sensibilité à la capacité) d'où nécessité d'un système de "compensation" pour ne tenir compte que de la composante résistive (ou active).
En pratique une fréquence de 3 à 5 Hz est retenue par les différents constructeurs.

Nota:
Ce principe (injection d'une tension de fréquence TBF) est utilisable pour tous les types de réseaux (courant alternatif, courant continu, mixte) et permet une localisation du départ en défaut par mises en place de tores homopolaires (accordés à la fréquence du générateur TBF) sur les différents départs, ces tores étant associés à un dispositif de mesure de courant (accordé à la fréquence du générateur TBF). Le seul départ en défaut est traversé par un courant TBF, et il n'est pas nécessaire d'insérer une résistance entre Neutre et Terre pour disposer d'un générateur homopolaire.

A 3.5 Hz, 1 km de câble (0.25μF) présente une impédance de :

$$Z_c = \frac{1}{0{,}25 \times 10^{-6} \times 6{,}28 \times 3{,}5} = 182k\Omega$$

Les règles concernant le nombre de CPI et de parasurtenseurs, énoncées dans le chapitre a) ci-dessus restent valables (1 seul CPI en service par réseau, 1 parasurtenseur par transformateur de puissance etc...)

1. Baisse d'Isolement

Toute baisse d'isolement est détectée par LE CPI, ce qui entraînera une recherche du départ en défaut.
Ce principe n'est utilisable que pour le schéma "IT" et le courant continu isolé.
Pour être efficace la signalisation doit être réglée à 250 kΩ et ne pas provoquer de signalisations trop fréquentes, d'où l'intérêt de l'afficheur permettant de se faire un "historique".
Pour le "déclenchement de la localisation" une valeur de réglage de 50 kΩ est suffisante; une valeur de réglage trop élevée pourra amener des difficultés de localisation, plusieurs départs pouvant participer à la baisse d'isolement général.

2. Détection de Tension Négative

Un CPI peut détecter une tension négative lorsque le réseau alternatif est affecté par la présence de tension continue. Dans ce cas, il est important de signaler que le dispositif n'est plus en mesure de fonctionner correctement.

C. Localisation (Recherche de Défaut)

Lorsque le CPI signale un défaut, la norme impose d'effectuer le plus rapidement possible la recherche du défaut, différentes méthodes sont utilisables :

1. Courant à Fréquence Industrielle

La signalisation du 1er défaut provoque, manuellement, la mise en place d'un générateur homopolaire (résistance entre Neutre et Terre par exemple), le courant de circulation de défaut étant compatibles avec le respect de la tension Ul, les possibilités de détection des éléments de mesure, avec une détection normale de résistance de défaut (en pratique le courant de défaut est limité à une valeur maximale de 0.5 A).
Chaque départ est équipé d'un tore, ou une pince ampèremétrique sera déplacée sur les départs à tour de rôle, l'information du courant de défaut sera envoyé vers un élément de mesure.
Si tous les départs sont très courts (l< 50 m), le seul départ en défaut enverra une information de courant.
Si tous les départs sont longs (ou seulement un certain nombre),
l'information de courant transmise à l'élément de mesure correspondra au courant éventuel du générateur homopolaire (pour le départ en défaut) et au courant homopolaire d– à la capacité des câbles du départ considéré (pour les départs sains).
La valeur maximale de courant mesuré correspond obligatoirement au départ en défaut.

2. Coupure d'Alimentation

Cette méthode consiste en l'ouverture successive des différents départs avec surveillance du CPI (les différents départs doivent être regroupés dans le même tableau et la coupure successive des départs, y compris des départs sains, ne doit pas entraîner de perturbations dans l'exploitation du réseau). On voit très rapidement que cette méthode a ses limites.

3. Injection Basse Fréquence

Cette méthode est décrite dans le chapitre c) ci-dessus traitant du CPI par injection de courant alternatif d'une fréquence TBF (applicables aux réseaux alternatif, courant continu ou mixte) :

D. Dispositifs Différentiels à Courant Résiduel

Lorsque le Neutre de l'installation alternative BT est mis directement à la Terre (schémas "TT", "TN") un défaut d'isolement provoque un courant de défaut à la terre.

Celui-ci est détecté par un dispositif différentiel à courant résiduel composé de 2 parties :
- capteur de courant résiduel
- élément de mesure de ce courant appelé "relais"

Nota :

Lorsque le courant nominal de l'installation est faible (par exemple < 100 A) , les 2 parties sont physiquement dans le même matériel, mais les principes restent valables.

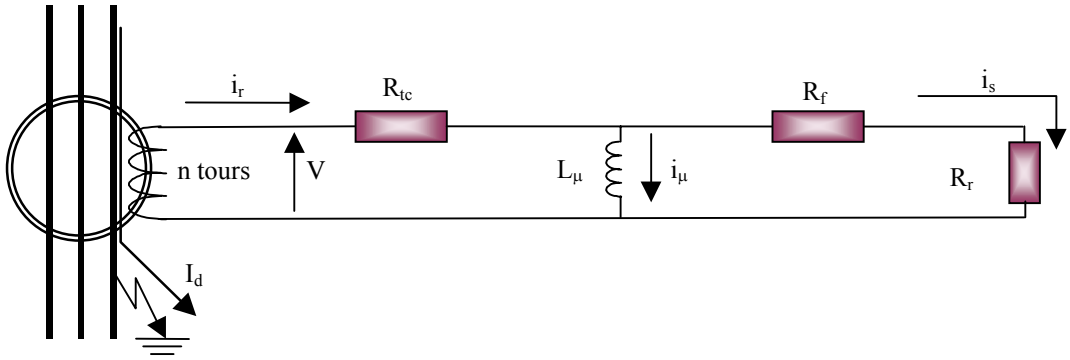
1. Capteur de courant résiduel

C'est un transformateur de courant bobiné à "passage" dans lequel passe les conducteurs de phases et de neutre de manière à effectuer la somme i1 + i2 + i3.
Cette somme correspond au courant résiduel ramené en grandeur secondaire
(Id / n) = ir

n = nombre de tours du tore (ex : 600 tours)
Id = courant de défaut d'isolement
ir = courant résiduel mesuré au secondaire

ex : Id = 120 A, n = 600 t, d'où ir = 120 : 600 = 0.2 A

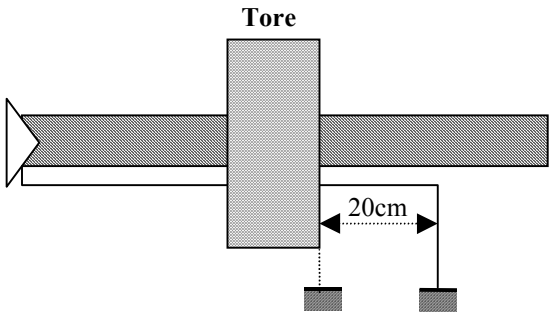
Schéma équivalent du tore



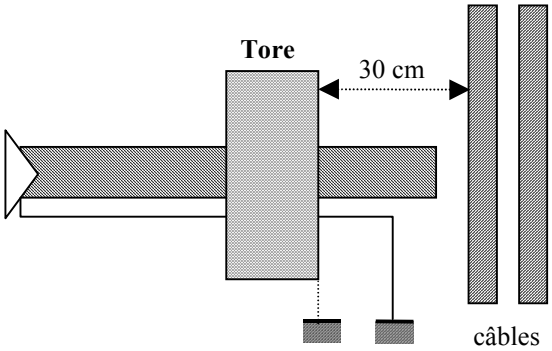
Rtc = résistance du transformateur de courant ex : 10 Ω
Rf = résistance de la filerie entre relais et tore ex : 1 Ω
Lμ = impédance magnétisante du tore (en valeur non saturée par exemple Lμ = Iμ / V, lorsque V = Vk = 5 V, Iμ = 5 mA
soit Zμ = 1000 Ω
Rr = résistance du relais ex : 400 Ω
ir = iμ + is
iμ = courant dérivé par l'impédance magnétisante à la tension V
is = courant traversant le relais

Précautions à prendre pour le montage d'un tore homopolaire :

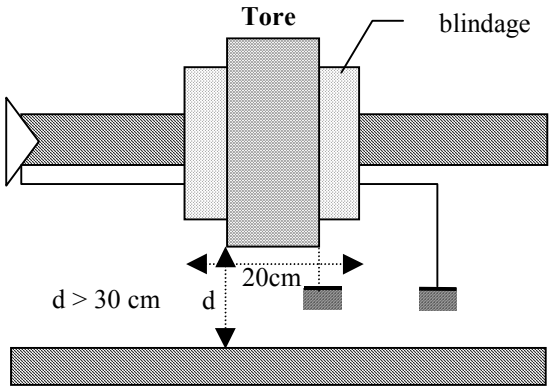
1. distance minimum de la connexion de terre



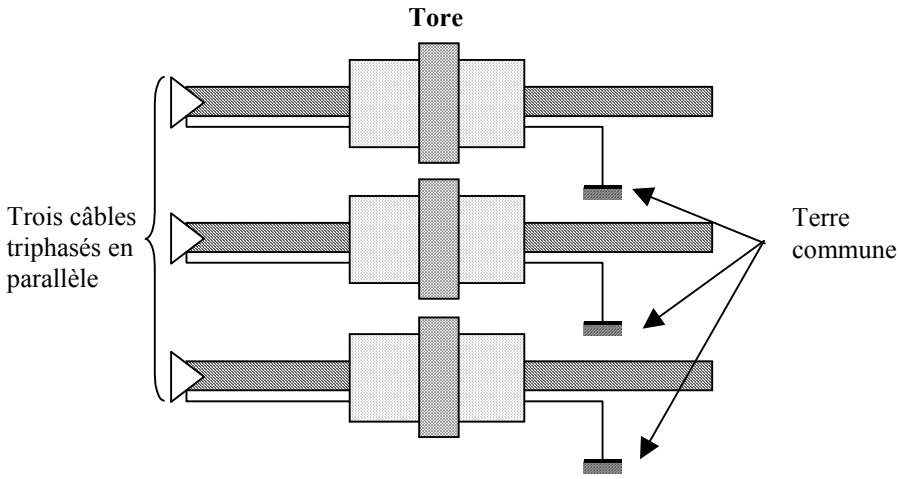
2. distance minimum entre un tore et les câbles de puissance



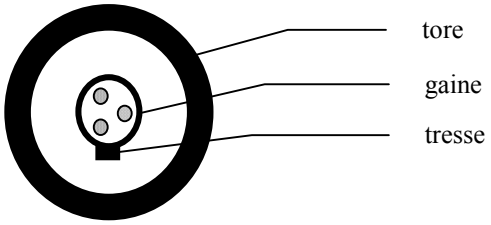
3. distance minimum entre un tore et des câbles de puissance et taille minimum d'un blindage ouvrant canalisant le flux de fuite.

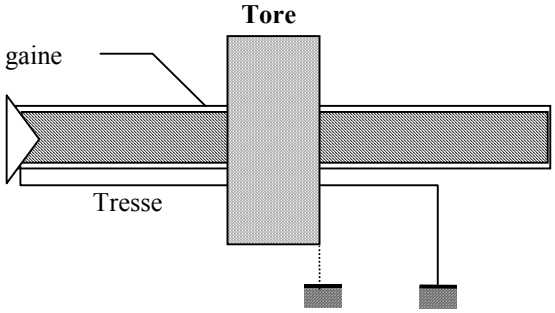


4. raccordement de 3 tores sur 3 câbles triphasés en parallèle

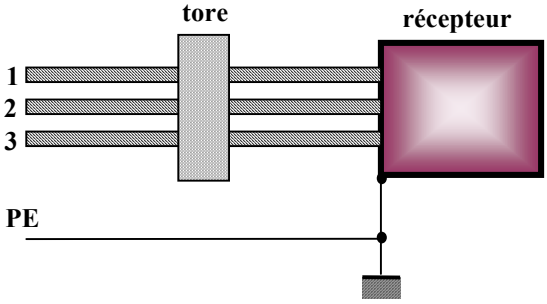


5. passage de la tresse de mise à la terre du câble





6. conducteur de protection PE et tore



Le bon centrage du câble permet d'améliorer la sensibilité que l'on peut obtenir, le surdimensionnement du diamètre intérieur de passage du tore (pour un câble de diamètre extérieur de "d", prendre un diamètre intérieur de tore égal à "2 x d") sensibilité pouvant être obtenue :

ir / iph < 1/10000

ir = courant résiduel
iph = courant de phase

Par contre lorsque plusieurs tores sont raccordés en parallèle, en plus de la perte de sensibilité due à l'augmentation du courant magnétisant (somme des courants magnétisants des différents tores) il est nécessaire de désensibiliser le réglage du relais

is (à afficher) = √N x is (calculé)
N étant le nombre de tores en parallèle
Le tore homopolaire mesure les harmoniques 3 du réseau et leurs multiples qui se referme par le neutre, en effet les harmoniques 3 des courants i1 i2 i3 sont en phase et leur sommation par un tore homopolaire donne un courant triple du courant d'harmonique 3 de chaque phase.
Il est nécessaire d'en tenir compte, si le réseau présente un certain taux d'harmonique 3, en désensibilisant le relais (réglage du courant à 2 x 3 fois le courant d'harmonique 3 circulant dans une phase) ou en filtrant ce relais aux harmoniques 3, 6, 9 etc.

2. Relais

Le relais assure la détection d'un seuil de courant mesuré par le tore.
La mesure peut être ampèremétrique (non directionnel), soit ampèremétrique directionnalisé.

a) mesure ampèremétrique

Il s'agit d'un relais de seuil réglé seulement en courant dont la valeur de réglage Idn doit satisfaire à:

Idn < Uc / Rm

Uc = 12 ou 25 ou 50 V
Rm = résistance de la prise de terre des masses

Dans le cas général où Uc = 12 V, Rm < 100 Ω,
Idn sera pris à < 12 / 100 soit Idn = 100 mA

Pour l'utilisation d'un relais ampèremétrique non directionnel, il est nécessaire d'effectuer la vérification :
Idn > 2 x Ic

Ic = courant de défaut fourni par le départ (dû à la capacité du départ) sur un défaut extérieur

En cas d'impossibilité de respecter cet impératif il est nécessaire de mettre un relais de courant directionnalisé.
En cas de défaut sur le câble, le tore mesurera le courant qui va vers le défaut donc vers le câble, en cas de défaut extérieur le tore mesurera la courant capacitif qui part du câble vers le défaut.
Si le réseau est très long, donc capacité importante, le courant capacitif peut être suffisant pour la localisation de défaut d'où possibilité de s'affranchir de la résistance dans le neutre, mais il est nécessaire de s'assurer que le changement de configuration du réseau (suppression de certains départs) permet toujours la localisation.
L'information "seuil de courant atteint" sera validée par l'information "directionnelle aval" et le déclenchement possible dans ces seules conditions.

Nota :
Le Dispositif Différentiel à Courant Résiduel est utilisable dans les cas suivants :

- régime "IT" : 2 ème défaut
  - sur chaque départ, par groupe de masse, si les masses ne sont pas reliées entre elles.
  - sur les départs très longs (conditions de déclenchement de la norme non respectées) Idn < Idéfaut pour la sélectivité.
- régime "TT" : 1 er défaut
  - placé en tête de l'installation, le réglage dépend de Rm.
  - sur chaque départ, par groupe de masses, si les masses ne sont pas reliées entre elles.
- régime "TN" : 1 er défaut
  - départ trop long Idn < Idéfaut ou conditions de déclenchement de la norme non respectées.
  - sur chaque départ, par groupe de masses, si les masses ne sont pas reliées entre elles.

E. Parasurtenseur

Le parasurtenseur est un limiteur de tension, servant à la protection du matériel.

Il est obligatoire dans le schéma "IT" et placé le plus près possible du transformateur et en amont de tout dispositif de coupure ou de sectionnement.
Il doit être raccordé entre le neutre (lorsque celui-ci est accessible) du transformateur de puissance et la terre.
Chaque transformateur de puissance doit être équipé d'un parasurtenseur.
Lorsque le neutre du transformateur n'est pas sorti (dans le cas d'un couplage étoile, neutre non accessible) ou inexistant (dans le cas d'un couplage triangle) le parasurtenseur sera raccordé entre une phase et la terre. Dans le cas oùplusieurs transformateurs de puissance (neutres non sortis) seraient raccordés sur le réseau, les parasurtenseurs seraient raccordés sur la même phase.
La norme prévoit l'installation de 3 parafoudres à l'origine de l'installation et immédiatement en aval des organes de coupure (dans les schémas "TT" et "TN", Figures 53E et 53F de la norme)

1. Rôle

Le parasurtenseur est destiné à limiter le niveau des surtensions à fréquence industrielle à un niveau compatible avec la tension de tenue de l'installation.
Le parasurtenseur écoule à la terre les surtensions dangereuses dues aux :
* conditions atmosphériques (orage)
* manoeuvres d'organes de coupure
* défauts d'isolement avec des installations de niveau de tension plus élevé (exemple : amorçage entre enroulement primaire MT et enroulement secondaire BT)

Nota :

La norme définit, pour ce problème d'isolement entre enroulements, des valeurs maximales de résistances de prise de terre (Rn) qui sont :

cas du schéma "IT"

$$Rn < \frac{Uta - U}{Im}$$

cas du schéma "TT"

$$Rn < \frac{Uta - V}{Im}$$

avec :

Uta	=	tension de tenue des masses à la fréquence industrielle (prise conventionnellement à Uta = (2 x U) + 1000)
U	=	tension entre phases (à prendre en compte dans schéma "IT")
V	=	tension phases-terre (à prendre en compte dans schéma "TT")
Im	=	courant de défaut maximal monophasé (à la terre) du plus haut niveau tension

2. Réalisation

Le choix du parasurtenseur se fera en tenant compte des paramètres suivants et en conformité avec la norme NF C 63-150 :

- tension nominale du parasurtenseur Un = 250, 440, 660 V
- tension nominale d'amorçage à 100 % (Uin) à fréquence industrielle (pour cette valeur de tension, le parasurtenseur amorce toujours)
- tension nominale d'amorçage à 0 % à fréquence industrielle (pour cette valeur de tension, le parasurtenseur n'amorce jamais), le parasurtenseur doit être dimensionné pour supporter sans amorçage la tension simple du réseau (raccordement entre Neutre et Terre) ou la tension composée du réseau (raccordement entre Une Phase et Terre)
- tension d'isolement Ut, la plus faible de l'installation.
- Ut est en général de 2000 V pour les conducteurs, mais l'isolement de certains récepteurs peut être moindre (ex. condensateurs, petits moteurs)
- le niveau de protection effectif Up assuré par le parasurtenseur est :

Connexion du parasurtenseur entre Neutre et Terre
Up = Uin + V avec Up < 0.8 Ut
V étant la tension simple phase-neutre

Connexion du parasurtenseur entre Phase et Terre
Up = Uin + U avec Up < 0.8 Ut
U étant la tension composée entre phases

la tension nominale du parasurtenseur (Un) sera choisie en fonction du réseau et du raccordement.

Tensions nominales du parasurtenseur (Un) à utiliser :

Réseau à protéger Vn/Un	Neutre accessible Raccord Neutre/Terre	Neutre non accessible Raccord Phase/Terre
133/231 V	250 V	250 V
231/400 V	250 V	440 V
289/500 V	440 V	660 V
381/660 V	440 V	660 V
577/1000 V	660 V	1000 V

* Le modèle 1000 V existe mais n'est pas prévue par la norme.

Les différentes tensions nominales Un du parasurtenseur, ont chacunes une tension nominale d'amorçage à 0 % à fréquence industrielle (Uion) et une tension nominale d'amorçage à 100 % à fréquence industrielle (Uin)

Tension nominale du parasurtenseur Un	Tension d'amorçage à 0% Uion	Tension d'amorçage à 100% Uin
250 V	400 V	750 V
440 V	700 V	1100 V
660 V	1100 V	1600 V

ce qui signifie que sur un parasurtenseur de Un = 250 V par exemple, si on applique une tension Ua (à fréquence industrielle)
Ua < 400 V pas d'amorçage.
400 V < Ua < 750 V peut amorcer ou pas.
Ua > 750 V amorçage.

Au niveau technologique il existe 2 modèles :
- non destructible
- rechargeable après claquage

Nota :
L'une des causes de surtension, lorsque le réseau est à Neutre Isolé (schéma IT), est la "ferro-résonnance électrique".
Pour éviter les surtensions dues à ce phénomène 2 solutions sont envisageables :
- mettre en place 3 Transformateurs Tension dont le primaire est couplé en étoile, et le secondaire en triangle ouvert se refermant sur une résistance de 50 à 100 W.
- mettre en place entre le Neutre du Transformateur de Puissance et la Terre une résistance de l'ordre de 1000 Ω permettant de fixer le potentiel de neutre.
Cette valeur de résistance de Neutre ne modifiera pas le Régime du Neutre qui restera "schéma IT"

Ex:	Vn = 230 V,	Rn = 30 Ω,	Rm = 30 Ω,	Zn = 1000 Ω
	Id = 230 / (30 + 30 + 1000)		= 0.217 A	
	Uc = 0.217 x 30		= 6.5 V	donc < 12 V.

F. Sélectivité des Protections

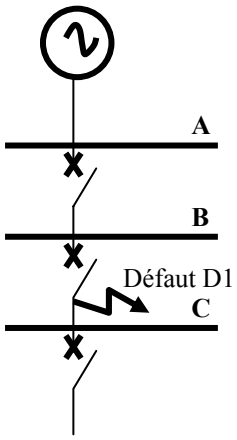
Ce chapitre est limité à la seule partie BT, alimentée par un ou plusieurs transformateurs MT/BT séparés ou en parallèles, dont la distribution BT est en antenne (radiale) ou en boucle ouverte.

1. But

La sélectivité a pour but :
- d'éviter les déclenchements intempestifs par le choix du réglage et du principe de protection appropriés.
- d'éliminer la seule partie d'installation en défaut, en permettant la continuité de service de la partie saine.

2. Réalisation

Le déclenchement aura lieu le plus en aval possible de l'installation, tout en étant en amont du défaut
exemple :



Pour un défaut en D1 situé entre B et C, l'élimination du défaut aura lieu par le disjoncteur du départ de B.

Le jeu de barres de C ne sera plus alimenté.

Les départs à partir des jeux de barres A et B (excepté celui en défaut) continueront à être alimentés.

a) Chronologique

Le temps de déclenchement minimum sera le plus en amont (ex en C) et compatible avec l'utilisation (ex en C : 150 ms), le réglage en courant de la protection sera Is compatible avec le respect de la norme (Uc) et le courant capacitif des départs (Is > 2 x Ic).
Le temps de déclenchement du niveau supérieur (ex en B) sera le temps de C (ex en C : 150 ms), majoré du temps de fonctionnement du disjoncteur en C (par exemple : 30 ms), majoré d'une sécurité de 100 ms soit une temporisation en B de 150 + 30 + 100 = 280 ms.
L'écart de temps entre B et C, soit 280 - 150 = 130 ms est appelé "écart sélectif".
Le réglage en courant de la protection en B sera 2 fois celui de C soit 2 x Is compatible avec le respect de la norme (Uc) et le courant capacitif des départs (2 x Is > 2 x Ic).
Le temps de déclenchement du niveau supérieur (ex en A) sera le temps de B (ex en B : 280 ms), majoré du temps de fonctionnement du disjoncteur en B (par exemple : 30 ms), majoré d'une sécurité de 100 ms soit une temporisation en A de 280 + 30 + 100 = 410 ms.
L'écart de temps entre A et B, soit 410 - 280 = 130 ms est le même qu'entre B et C ("écart sélectif").
Le réglage en courant de la protection en A sera 2 fois celui de B soit 4 x Is compatible avec le respect de la norme (Uc) et le courant capacitif des départs (4 x Is > 2 x Ic).

Ceci pourrait amener à des temps de déclenchement trop important ou/et des valeurs de réglage en courant trop important, mais en pratique en BT, le nombre maximum d'échelons est de 2 voire 3.

b) Relais Directionnel

Lorsque la condition de réglage du relais de mesure en courant Is > 2 x Ic (Ic étant le courant de défaut produit par le câble sur un défaut extérieur, et égal sensiblement à 3 fois le courant capacitif de service du câble) ne peut être respecté les relais seront du type directionnel.
L'exemple ci dessus va être repris en retenant cette hypothèse de non respect pour les jeux de barres B et C. Le réglage plus important en courant de A permettant de respecter cette condition.

Le temps de déclenchement minimum sera le plus en amont (ex en C) et compatible avec l'utilisation (ex en C : 150 ms), le réglage en courant de la protection sera Is compatible avec le respect de la norme (Uc) et le relais directionnalisé (Is < 2 x Ic).
Le temps de déclenchement du niveau supérieur (ex en B) sera le temps de C (ex en C : 150 ms), majoré du temps de fonctionnement du disjoncteur en C (par exemple : 30 ms), majoré d'une sécurité de 100 ms soit une temporisation en B de 150 + 30 + 100 = 280 ms.
L'écart de temps entre B et C, soit 280 - 150 = 130 ms est appelé "écart sélectif".
Le réglage en courant de la protection en B sera 2 fois celui de C soit 2 x Is compatible avec le respect de la norme (Uc) et le relais directionnalisé (2 x Is < 2 x Ic).
Le temps de déclenchement du niveau supérieur (ex en A) sera le temps de B (ex en B : 280 ms), majoré du temps de fonctionnement du disjoncteur en B (par exemple : 30 ms), majoré d'une sécurité de 100 ms soit une temporisation en A de 280 + 30 + 100 = 410 ms.
L'écart de temps entre A et B, soit 410 - 280 = 130 ms est le même qu'entre B et C ("écart sélectif").
Le réglage en courant de la protection en A sera 2 fois celui de B soit 4 x Is compatible avec le respect de la norme (Uc) et le courant capacitif des départs (4 x Is > 2 x Ic).