

# Chapitre F

## La protection contre les chocs électriques

### Sommaire

<b>1</b>	<b>Généralités</b>	<b>F2</b>
	1.1 Chocs électriques	F2
	1.2 Protection contre les chocs électriques	F3
	1.3 Contact direct et contact indirect	F3
<b>2</b>	<b>Protection contre les contacts directs</b>	<b>F4</b>
	2.1 Mesures de protection contre les contacts directs	F4
	2.2 Mesure de protection complémentaire contre les contacts directs	F5
<b>3</b>	<b>Protection contre les contacts indirects</b>	<b>F6</b>
	3.1 Mesure de protection par coupure automatique de l'alimentation	F6
	3.2 Coupure automatique en schéma TT	F7
	3.3 Coupure automatique en schéma TN	F8
	3.4 Coupure automatique lors du second défaut en schéma IT	F10
	3.5 Mesures de protection contre les contacts directs ou indirects sans coupure automatique de l'alimentation	F14
<b>4</b>	<b>Protection incendie dans le cas d'un défaut d'isolement</b>	<b>F17</b>
	4.1 Mesures de protection des biens contre le risque d'incendie	F17
	4.2 Protection Terre ou Ground Fault Protection (GFP)	F18
<b>5</b>	<b>Mise en œuvre du schéma TT</b>	<b>F19</b>
	5.1 Protection contre les contacts indirects	F19
	5.2 Coordination des protections différentielles	F20
	5.3 Dispositif différentiel haute sensibilité (DDR- HS)	F23
	5.4 Prévention dans les locaux à risque d'incendie et d'explosion	F23
	5.5 Protection lorsqu'une masse n'est pas reliée à la terre	F23
<b>6</b>	<b>Mise en œuvre du schéma TN</b>	<b>F24</b>
	6.1 Conditions préalables	F24
	6.2 Protection contre les contacts indirects	F24
	6.3 Dispositif différentiel à haute sensibilité	F28
	6.4 Prévention dans les locaux à risques d'incendie et d'explosion	F29
	6.5 Cas où l'impédance de boucle est particulièrement élevée	F29
<b>7</b>	<b>Mise en œuvre du schéma IT</b>	<b>F30</b>
	7.1 Conditions préalables	F30
	7.2 Protection contre les contacts indirects	F31
	7.3 Dispositif différentiel haute sensibilité (DDR- HS)	F35
	7.4 Prévention dans les locaux à risque d'incendie et d'explosion	F36
	7.5 Cas où l'impédance de boucle est particulièrement élevée	F36
<b>8</b>	<b>Dispositifs Différentiels à courant Résiduel (DDR)</b>	<b>F37</b>
	8.1 Type de DDR	F37
	8.2 Description	F38
	8.3 Sensibilité des DDR aux perturbations	F38

**Nota :**

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

# 1 Généralités

Lorsqu'un courant supérieur à 30 mA traverse une partie du corps humain, la personne concernée est en danger si le courant n'est pas interrompu dans un temps assez court.

## 1.1 Chocs électriques

C'est l'effet physiopathologique résultant du passage d'un courant électrique à travers le corps humain.

Son passage affecte essentiellement les fonctions circulatoires et respiratoires et provoque parfois des brûlures. La gravité du danger qu'il présente est fonction de l'intensité du courant qui parcourt le corps, de son trajet et du temps de passage.

La norme CEI 60479-1 amendée en 2005 définit quatre zones "intensité du courant/durée de passage du courant". Cette norme décrit pour chacune des zones, les effets pathologiques (cf. Fig. F1) :

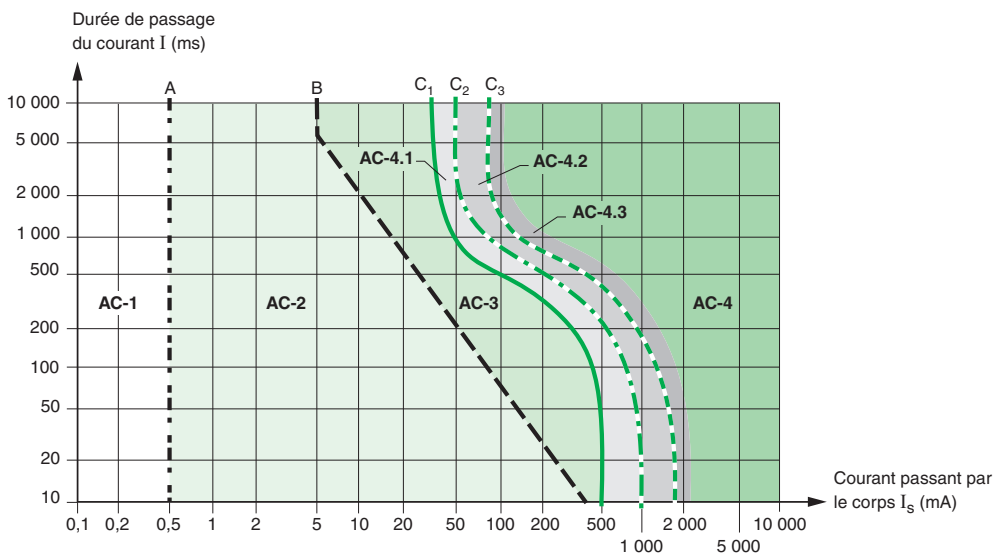
- la courbe C1 de cette norme indique que lorsqu'un courant supérieur à 30 mA traverse le corps humain longitudinalement, la personne concernée peut mourir si ce courant n'est pas interrompu dans un temps assez court.

- le point 500 ms/100 mA, très proche de la courbe C1, correspond à une probabilité de fibrillation de l'ordre de 0,14 %.

La protection des personnes contre les chocs électriques dans une installation électrique BT doit être réalisée en conformité avec les normes nationales appropriées, les textes réglementaires, les décrets, les circulaires et guides techniques, etc. en vigueur dans chaque pays. Les normes de référence sont :

- les normes CEI 60364 (série) définissant les règles d'installation,
- les normes CEI 60479 (série) définissant les effets pathologiques du courant électrique sur le corps humain,
- les normes produits CEI 60755 (dispositif différentiel DDR), CEI 61008 (interrupteur différentiel domestique), CEI 61009 (disjoncteur différentiel domestique) et CEI 60947-2 (disjoncteur industriel<sup>(1)</sup>).

- la norme NF C 15-100,
- le décret n° 88-1056 du 14.11.88 sur la protection des travailleurs complété de ses arrêtés, circulaires, recommandations et notes techniques.



AC-1: non perception  
 AC-2: perception  
 AC-3: effet réversible : crispation musculaire  
 AC-4: possibilité d'effets irréversibles  
 Zone AC-4-1 : probabilité de 0 à 5% de fibrillation cardiaque  
 Zone AC-4-2 : probabilité de 5 à 50% de fibrillation cardiaque,  
 Zone AC-4-3 : probabilité supérieure à 50% de fibrillation cardiaque.

Courbe A : seuil de perception du courant,  
 Courbe B : seuil de contraction musculaire,  
 Courbe C1 : probabilité à 0% de fibrillation ventriculaire,  
 Courbe C2 : probabilité à 5% de fibrillation ventriculaire,  
 Courbe C3 : probabilité à 50% de fibrillation ventriculaire

Fig. F1 : Zones intensité du courant/durée de passage du courant et effets sur le corps humain d'un courant alternatif circulant de la main gauche vers les pieds

(1) Cette norme concerne les disjoncteurs, les disjoncteurs différentiels (annexe B) et les dispositifs différentiels modulaires (DDR) (annexe M) de type industriel.

# 1 Généralités

Correspondance :  
CEI 61140 et NF EN 61140.

Les normes et règlements imposent une protection contre les contacts indirects à toute installation électrique.

Les mesures de protection sont :

- la coupure automatique de l'alimentation (au premier ou au second défaut selon le schéma des liaisons à la terre),
- des mesures particulières en fonction de situations précises.

Les normes et les règlements distinguent deux types de contacts dangereux :

- les contacts directs,
- les contacts indirects, et les mesures de protections correspondantes.

## 1.2 Protection contre les chocs électriques

La règle fondamentale de protection contre les chocs électriques est définie dans la partie 4 de la norme CEI 61140 qui couvre à la fois les règles des installations électriques et celles des équipements électriques.

"Les parties actives dangereuses ne doivent pas devenir accessibles et les parties conductrices accessibles ne doivent pas devenir dangereuses"

- ni dans les conditions normales,
- ni dans des conditions de simple défaut.

Différentes mesures sont adaptées à la protection contre ces dangers qui comprennent (voir la norme CEI 60364-4-41 § 410.3.3 et 410.3.5) :

- la coupure automatique de l'alimentation des équipements connectés,
- des dispositions particulières telles que :
  - utilisation de matériel isolant en classe II, ou de niveau équivalent d'isolation,
  - liaisons équipotentielles,
  - séparation électrique des circuits au moyen de transformateurs d'isolement,
  - mesure de protection par très basse tension TBTS et TBTP,
  - emplacements ou locaux non conducteurs, non accessibles au toucher ou interposition de barrière isolante, sous la surveillance d'une personne compétente.

F3

## 1.3 Contact direct et contact indirect

### Contact direct

Ce terme désigne le contact de personnes ou d'animaux (domestiques ou d'élevage) avec des conducteurs actifs (phase ou neutre) ou des pièces conductrices habituellement sous tension (cf. Fig. F2).

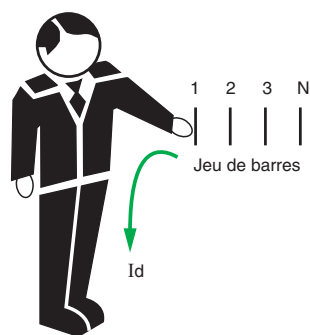
La norme CEI 61140 a renommé la "protection contre les contacts directs" en "protection principale". L'ancienne appellation est toutefois conservée.

### Contact indirect

Ce terme désigne le contact de personnes ou d'animaux (domestiques ou d'élevage) avec des masses<sup>(1)</sup> mises accidentellement sous tension. Cette mise sous tension accidentelle résulte de la défaillance de l'isolation d'un appareil.

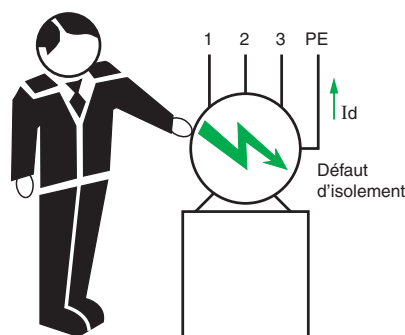
Le courant de défaut porte la masse accessible à une tension susceptible d'être dangereuse qui, à son tour, pourrait être à l'origine d'un courant dangereux au travers de la personne en contact avec cette masse (cf. Fig. F3).

La norme CEI 61140 a renommé la "protection contre les contacts indirects" en "protection en cas de défaut". L'ancienne appellation est toutefois conservée.



Id : Courant de défaut  
(traverse le corps humain)

Fig. F2 : Contact direct



Id : Courant de défaut d'isolement  
(ne traverse pas le corps humain)

Fig F3 : Contact indirect

(1) Masse : partie conductrice d'un matériel électrique susceptible d'être touchée par une personne, qui n'est normalement pas sous tension, mais peut le devenir en cas de défaut d'isolement.

## 2 Protection contre les contacts directs

La norme CEI 60364 (NF C 15-100) distingue deux protections :

- complète (isolation, coffrets),
- partielle ou particulière.

### 2.1 Mesures de protection contre les contacts directs

La protection contre les contacts directs est assurée :

- par "l'isolation principale" des parties actives, c'est-à-dire par des barrières ou des enveloppes,
- par la mise en œuvre d'une protection complémentaires réalisée par un dispositif différentiel à courant résiduel haute sensibilité ( $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$ ) et à temps de fonctionnement rapide. Ces dispositifs sont très efficaces dans la majorité des cas de contact direct.

#### Protection par isolation des parties actives

Elle consiste en une isolation conforme aux prescriptions concernant les matériels. Les peintures, laques, vernis n'assurent pas une protection suffisante (cf. Fig. F4).

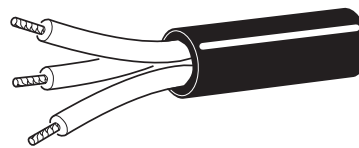


Fig. F4 : Protection par isolation d'un câble triphasé avec gaine

F4



Fig. F5 : Exemple d'isolation par enveloppe

#### Protection au moyen de barrières ou d'enveloppes

C'est une mesure très utilisée puisque bon nombre de matériels sont installés dans des coffrets, des armoires, des tableaux (cf. Fig. F5).

Pour être considérés comme assurant la protection contre les contacts directs, tous ces équipements doivent posséder au moins le degré de protection IP 2X ou IP XXB (cf. chapitre E paragraphe 3.4).

Par ailleurs, l'ouverture de l'enveloppe (porte, tiroirs, panneaux) ne doit pouvoir s'effectuer que :

- à l'aide d'une clé ou d'un outil, ou bien
- après mise hors tension des parties actives, ou bien
- avec interposition automatique d'un autre écran ne pouvant lui-même être escamoté qu'à l'aide d'une clef ou d'un outil. Les enveloppes métalliques doivent être raccordées au conducteur de protection.

#### Mesures de protection partielle

- Protection au moyen d'obstacles ou par mise hors de portée

Elle est réservée aux locaux dont l'accès est restreint aux personnes averties ou qualifiées, en pratique les locaux de services électriques. La mise en œuvre de ces mesures est détaillée dans la norme CEI 60364-4-41.

#### Mesures de protection particulière

- Protection par l'utilisation de la très basse tension TBTS ou la limitation de l'énergie de décharge

Ce sont des cas particuliers, car ils ne permettent pas de véhiculer des puissances importantes. On se reportera utilement à leur description au paragraphe 3.5.

Correspondance :  
CEI 60364-4-41 et NF C 15-100 § 4-41

## 2 Protection contre les contacts directs

La mesure de protection complémentaire contre les contacts directs consiste à utiliser des dispositifs à courant différentiel résiduel de haute sensibilité  $\leq 30$  mA appelés en abrégé DDR-HS.

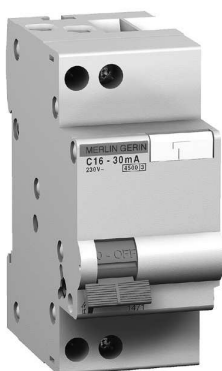


Fig. F6 : DDR-HS

La NF C 15-100 édition 2002 étend l'obligation de cette mesure complémentaire aux circuits alimentant les socles de prise de courant et à certains emplacements spéciaux.

### 2.2 Mesure de protection complémentaire contre les contacts directs

Toutes les mesures précédentes ont un caractère préventif. L'expérience montre que la plupart peuvent se révéler parfois défaillantes pour plusieurs raisons :

- manque d'entretien,
- imprudence, négligence, inattention,
- usure normale ou anormale d'un isolant (exemple : sollicitations mécaniques fréquentes des cordons souples),
- contact accidentel,
- présence d'eau imprévue, rendant l'isolation ou les enveloppes inefficaces.

Pour pallier ce risque, la mesure de protection complémentaire contre les contacts directs consiste à utiliser des dispositifs à courant différentiel résiduel de haute sensibilité  $\leq 30$  mA appelés en abrégé DDR-HS. Ils détectent tout courant qui ne se reboucle pas au travers des parties actives (phase ou neutre) et déconnectent automatiquement la partie de l'installation concernée (cf. Fig. F6).

La norme CEI 60364-4-41 § 415.1.1 reconnaît comme une mesure efficace la protection complémentaire des personnes contre les contacts par des DDR haute sensibilité (DDR-HS  $I_{\Delta n} \leq 30$  mA). Certains pays dont la France l'imposent dans certaines situations.

Cette protection complémentaire est exigée dans certains pays pour des circuits alimentant des socles de prise de courant de courant assigné jusqu'à 32 A, et à des valeurs plus importantes, si les emplacements sont humides et/ou les installations temporaires (telles que les installations de chantier par exemple).

Il est aussi recommandé de limiter le nombre de prises protégées par un DDR-HS (10 prises de courant en aval d'un même DDR).

Le sous chapitre P3 indique les différents locaux dans lesquels l'utilisation de DDR-HS est obligatoire (pour quelques pays) mais dans tous les cas, elle est hautement recommandée comme protection efficace contre les dangers des contacts directs et indirects.

La NF C 15-100 § 411-3-3 impose cette protection complémentaire pour les circuits alimentant les socles de prise de courant jusqu'à 32 A compris, et au-delà si elles sont installées dans des locaux mouillés, et les installations temporaires (chantiers, etc.).

F5

## 3 Protection contre les contacts indirects

Correspondance :  
CEI 60364-4-41 et NF C 15-100-4-41

Les masses sont séparées des parties actives par une isolation principale ; mais elles peuvent être mises accidentellement sous tension, à la suite d'une défaillance de cette isolation. Les normes imposent, en conséquence, la mise en œuvre d'une seconde mesure de protection contre les chocs électriques.

La mesure de protection contre les contacts indirects par coupure automatique de l'alimentation est réalisée si les masses sont mises à la terre.

F6

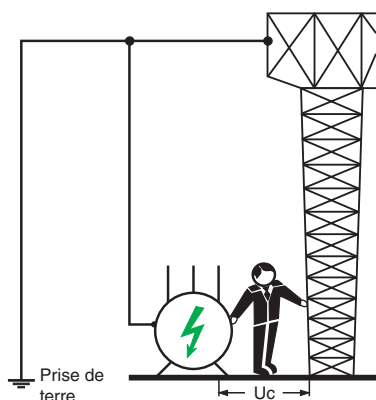


Fig. F7 : La tension de contact  $U_c$  à l'origine du danger est une tension main/main

### 3.1 Mesure de protection par coupure automatique de l'alimentation

Cette mesure de protection repose sur 2 principes fondamentaux :

- mise à la terre de toutes les masses des matériels électriques de l'installation et constitution de la liaison équipotentielle principale (cf. chapitre G paragraphe 6.4).
- mise hors tension automatique de la partie de l'installation où se produit un défaut d'isolement, de manière à ne pas soumettre une personne à une tension de contact  $U_c$ <sup>(1)</sup> (cf. Fig. F7) pendant une durée telle qu'elle soit dangereuse.

Afin de répondre à ces 2 exigences, la norme CEI 60364-4-41 définit une valeur de tension limite de contact, des schémas des liaisons à la terre et des temps de coupure maximaux.

#### Tension limite conventionnelle de contact $U_L$ (VEI : (826-02-04)

C'est la valeur maximale de la tension de contact présumée qu'il est admis de pouvoir maintenir indéfiniment dans des conditions d'influences externes spécifiées. La valeur de  $U_L$  est égale à 50 VCA.

Note : dans certains textes réglementaires, cette tension est dénommée tension limite de sécurité.

#### Schémas des liaisons à la terre (SLT)

La norme CEI 60364-4-41 définit 3 schémas des liaisons à la terre : schéma TN, schéma TT et schéma IT. L'objectif de ces schémas est d'empêcher qu'à la suite d'un défaut d'isolement, une personne puisse se trouver soumise à une tension de contact supérieure à  $U_L = 50$  V CA pendant un temps tel qu'il puisse en résulter des dommages organiques.

La mise en œuvre d'un SLT exige aussi le dimensionnement des conducteurs et le choix et les caractéristiques des dispositifs de protection.

#### Temps de coupure maximal

La norme CEI 60364-4-41 impose pour chaque SLT et en fonction de la tension du réseau des temps de coupure maximaux dans les conditions suivantes :

- pour les circuits terminaux, les temps de coupure sont fonction du schéma des liaisons à la terre de l'installation. Ils ne doivent pas dépasser ceux des tableaux F8,
- pour les circuits de distribution, dans tous les cas les temps de coupure doivent être inférieurs à 5 s.

$U_o$ (V)	$50 < U_o \leq 120$	$120 < U_o \leq 230$	$230 < U_o \leq 400$	$U_o > 400$
Schéma TN ou IT	0,8	0,4	0,2	0,1
TT	0,3	0,2	0,07	0,04

Fig. F8 : Durée maximale de maintien de la tension alternative de contact présumée dans les conditions normales. La résistance du sol et la présence de chaussures est prise en compte dans ces valeurs

(1) La tension de contact  $U_c$  désigne la tension apparaissant entre deux masses (ou une masse et un élément conducteur qui peut être à la terre) simultanément accessibles lors d'un ou plusieurs défauts d'isolement.

# 3 Protection contre les contacts indirects

La coupure automatique en schéma TT s'obtient par un dispositif différentiel résiduel

(DDR) de sensibilité  $I_{\Delta n} \leq \frac{50}{R_A}$  avec  $R_A$  résistance de la prise de terre des masses d'utilisation.

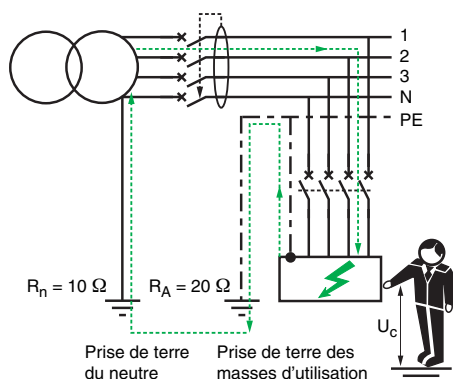


Fig. F9 : Coupure automatique en schéma TT

$U_o^{(2)}$ (V)	T (s)
$50 < U_o \leq 120$	0,3
$120 < U_o \leq 230$	0,2
$230 < U_o \leq 400$	0,07
$U_o > 400$	0,04

(2)  $U_o$  est la tension nominale phase-neutre

Fig. F10 : Temps maximal de coupure pour des circuits terminaux BT ne dépassant pas 32 A

$x I_{\Delta n}$		1	2	5	> 5
Domestique	Instantané	0,3	0,15	0,04	0,04
	Type S	0,5	0,2	0,15	0,15
Industriel	Instantané	0,3	0,15	0,04	0,04
	Temporisation : 0,06 s	0,5	0,2	0,15	0,15
	Autres temporisations	Voir le constructeur			

Fig. F11 : Temps de coupure maximal des DDR (en secondes)

Correspondance : CEI 60947-2 et NF EN 60947-2

## 3.2 Coupure automatique en schéma TT

### Principe

Dans ce type de schéma toutes les masses destinées à être protégées par un même dispositif de coupure doivent être reliées au même système de mise à la terre. Le point neutre de chaque source est relié à une terre distincte de celle des masses.

L'impédance de la boucle de défaut comprend le plus souvent deux résistances de terre, et l'intensité du défaut est, la plupart du temps, bien trop faible pour solliciter les protections de surintensité (disjoncteur ou fusible) dans le temps imparti.

La coupure automatique en schéma TT s'obtient par un dispositif différentiel résiduel (DDR) de sensibilité :

$$I_{\Delta n} \leq \frac{50}{R_A}$$

avec :

$R_A$  résistance de la prise de terre des masses d'utilisation

$I_{\Delta n}$  seuil maximal de déclenchement du DDR.

Note :

Ce principe de protection demeure valide si la prise de terre est unique, notamment dans le cas où toutes les conditions du schéma TN ne sont pas réunies.

La définition des protections correspondantes n'exige pas la pleine maîtrise des impédances de la boucle de défaut.

### Exemple (cf. Fig. F9)

- La résistance de la prise de terre du neutre  $R_n$  est de 10  $\Omega$ .
- La résistance de la prise de terre des masses d'utilisation  $R_A$  est de 20  $\Omega$ .
- L'intensité de défaut d'isolement interne du moteur  $I_d$  est 230/30 = 7,7 A.
- La tension de contact  $U_c = I_d \times R_A = 154$  V : tension de défaut dangereuse. Le seuil maximal de déclenchement du DDR,  $I_{\Delta n}$  doit donc être  $\leq 50/20 = 2,5$  A. La tension dangereuse sera éliminée par un DDR classique (ex. :  $I_{\Delta n} = 300$ mA) en moins de 30 ms.

### Temps de coupure maximal

La norme CEI 60364-4-41 § 411.3.2.2 et § 411.3.2.4 définit le temps maximal de coupure des dispositifs de protection utilisés en schéma TT pour la protection contre les contacts indirects :

- pour tous les circuits terminaux ayant un courant assigné ne dépassant pas 32 A, le temps maximal de coupure n'excédera pas les valeurs indiquées sur la Figure F10,
- pour les circuits de distribution et les autres circuits, le temps maximal de coupure est fixé à 1s. Cette valeur limite rend possible la sélectivité entre les DDR<sup>(1)</sup> des circuits de distribution.

### Temps de coupure des DDR

Les temps de déclenchement des DDR sont inférieurs aux temps prescrits par la majorité des normes nationales ; cette caractéristique facilite leur mise en œuvre et autorise l'organisation de la sélectivité des protections.

La Figure F11 indique les caractéristiques temps/courants de déclenchement des DDR de type G (général) et de type S (sélectif) définies dans la norme CEI 61008. Ces caractéristiques permettent un certain niveau de déclenchement sélectif entre plusieurs combinaisons de DDR de sensibilité et de type différent comme indiqué plus loin dans le paragraphe 5.2.

Les DDR de type industriel suivant la CEI 60947-2 permettent des possibilités de sélectivité beaucoup plus importantes du fait de leur grande souplesse de réglage en temporisation.

Les DDR instantanés ou de type S ont un temps de déclenchement conforme au tableau de la Figure F8.

Pour la protection des circuits de distribution, la NF C 15-100 alloue un temps maximal de 5 s aux DDR temporisés.

(1) DDR est le terme générique pour tous les dispositifs de protection fonctionnant suivant le principe du courant résiduel comme les interrupteurs et disjoncteurs différentiel, ou les dispositifs différentiels (voir Chapitre F Paragraphe 8). Dans ce dernier cas, les règles de sélectivité font aussi intervenir les caractéristiques de l'organe de coupure associé (par exemple DDR Vigirex associé à un disjoncteur Compact NSX).

F7

F8

La coupure automatique de l'alimentation en schéma TN est réalisée par les dispositifs de protection contre les surintensités ou par les DDR

### 3.3 Coupure automatique en schéma TN

#### Principe

Dans le schéma TN,

- un point de l'alimentation, généralement le neutre, est mis à la terre à la borne principale,
- les masses sont mises à la terre à la borne principale au moyen des conducteurs de protection (PE).

Comme indiqué dans le Chapitre E paragraphe 1.2, la manière dont le conducteur neutre est mis à la terre, dépend du type de SLT à mettre en œuvre : schéma TN-S, schéma TN-C ou schéma TN-C-S. La **Figure F12** montre un schéma TN-C : le conducteur neutre est à la fois un conducteur de protection et un conducteur neutre (PEN).

Dans tous les types de schéma TN, un défaut d'isolement<sup>(1)</sup> est équivalent à un court-circuit phase neutre. Le niveau élevé des courants de défaut permet d'utiliser les dispositifs de protection contre les surintensités pour assurer la protection des personnes contre les contacts indirects. Cependant pendant le temps, très court, avant coupure, la tension de contact peut atteindre des valeurs excédant 50 % de la tension phase neutre.

En pratique, pour des réseaux de distribution publique, des mises à la terre du conducteur de protection (PE ou PEN) du réseau sont normalement réalisées à intervalle régulier tandis que l'utilisateur est souvent tenu de réaliser une mise à la terre au point d'entrée du bâtiment.

Pour des installations de grande dimension, des mises à la terre additionnelles réparties sur l'ensemble des locaux, sont souvent réalisées afin de réduire autant que possible les tensions de contact. Dans les immeubles de grande hauteur (IGH), tous les éléments conducteurs sont reliés au conducteur de protection à chaque étage.

Afin d'assurer une protection efficace, le courant de défaut à la terre

$$I_d = \frac{U_0}{Z_s} \text{ ou } 0,8 \frac{U_0}{Z_c} \text{ doit être } \geq I_a \text{ avec :}$$

- $U_c$  = tension nominale phase neutre.
- $I_d$  = intensité de défaut (égale à  $U_0/Z_s$ ).
- $I_a$  = courant assurant le fonctionnement du dispositif de protection dans le temps spécifié.
- $Z_s$  = impédance de la boucle de défaut, égale à la somme de toutes les impédances parcourues par le courant de défaut (source, conducteurs actifs et conducteurs de protection jusqu'au point de défaut).
- $Z_c$  = impédance de boucle du circuit en défaut (voir "méthode conventionnelle" paragraphe 6.2).

**Note** : l'impédance du circuit de retour à la source au travers de la mise à la terre est (généralement) beaucoup plus élevée que celles mentionnées ci-dessus du fait de la résistance de terre et peut donc être négligée pour le calcul du courant de défaut.

#### Exemple (cf. Fig. F12)

La tension de défaut  $U_c = \frac{230}{2} = 115 \text{ V}$  est dangereuse ;

L'impédance de la boucle de défaut  $Z_s = Z_{AB} + Z_{BC} + Z_{DE} + Z_{EN} + Z_{NA}$ .

Si les impédances  $Z_{AB}$  et  $Z_{FE}$  sont négligeables alors :

$$Z_s = 2\rho \frac{L}{S} = 64,3 \text{ m}\Omega \text{ , d'où}$$

$$I_d = \frac{230}{64,3 \times 10^{-3}} = 3,576 \text{ A} \text{ (} \approx 22 \text{ In en considérant un disjoncteur Compact NSX160).$$

Les seuils de déclenchement des protections Instantané et Court retard du disjoncteur Compact NSX160 sont bien inférieurs à la valeur du courant de court-circuit de ce fait un déclenchement certain avec un temps de coupure très court est assuré inférieur au temps de coupure requis (0,4s).

Le seuil de déclenchement instantané  $I_a$  du Compact NSX160 est bien inférieur à cette valeur ; il s'ouvrira dans le temps requis (0,4 s).

**Note** : la méthode conventionnelle décrite dans le guide NF C 15-105 fait l'hypothèse que les impédances amont réduisent la tension de 20 %. Elle indique donc un courant de valeur :

$$\frac{230 \times 0,8}{64,3} = 2,816 \text{ A} \text{ (} \approx 18 \text{ In).$$

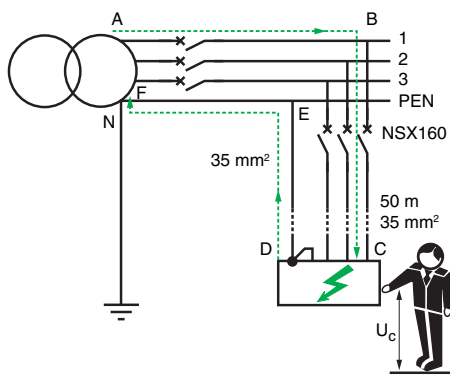


Fig. F12 : Coupure automatique en schéma TN

(1) En fait s'il s'agit d'un défaut d'isolement dangereux c'est à dire phase-terre. Un défaut du conducteur neutre à la terre n'est pas dangereux (le conducteur neutre étant globalement au potentiel de la terre) donc les dispositifs de protections n'ont pas lieu de déclencher. Cependant, d'un point de vue fonctionnel, un schéma TN-S se transforme en schéma TN-C ce qui peut être préjudiciable pour des équipements sensibles, par exemple du fait de la circulation possible de courants harmoniques de neutre dans les conducteurs de terre (voir Chapitre G paragraphe 4.2).



### 3 Protection contre les contacts indirects

Correspondance :  
CEI 60364-4-41 et NF C 15-100 Partie 4-41

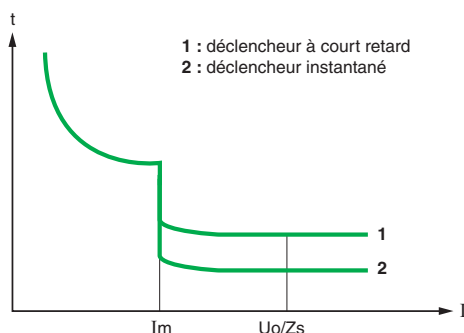
$U_0^{(1)}$ (V)	T (s)
$50 < U_0 \leq 120$	0,8
$120 < U_0 \leq 230$	0,4
$230 < U_0 \leq 400$	0,2
$U_0 > 400$	0,1

(1)  $U_0$  est la tension nominale phase-neutre

**Fig. F13** : Temps maximal de coupure pour des circuits terminaux en tension CA de courant nominal inférieur à 32 A

Une protection assurée par un disjoncteur, se vérifie aisément sur les courbes de déclenchement : le courant de défaut doit dépasser le seuil instantané ou de Court retard ( $I_m$ ).

Une protection prévue par fusibles peut ne pas être assurée si l'impédance de boucle de défaut  $Z_s$  ou  $Z_c$  est supérieure à une certaine valeur.



**Fig. F14** : Mise en œuvre de la coupure en schéma TN par disjoncteur

#### Temps maximal de coupure

La norme CEI 60364-4-41 § 411.3.2.3, spécifie le temps maximal de coupure des dispositifs de protection utilisés pour la protection des personnes contre les contacts indirects en schéma TN. Ce temps est fonction de la tension phase-terre égale presque toujours à la tension simple phase-neutre  $U_0$  soit :

■ pour tous les circuits terminaux dont le courant nominal ne dépasse pas 32 A, le temps maximal de coupure devra être inférieur à la valeur indiquée dans le tableau de la **Figure F13**,

■ pour les circuits de distribution et les autres circuits, le temps maximal de coupure est fixé à 5 s. Cette valeur limite rend possible la sélectivité entre les dispositifs de protection.

**Note** : L'utilisation de DDR peut être nécessaire en schéma TN-S, comme le prévoit la norme CEI 60364. Il est toujours possible d'y recourir en cas de difficulté (extension par exemple), à condition que le conducteur de protection et le neutre soient séparés en amont du DDR.

#### Protection par disjoncteur (cf. Fig. F14)

Le déclencheur Instantané d'un disjoncteur assure l'élimination d'un courant de défaut en moins de 0,1 s.

En conséquence, la condition sur le temps de coupure maximal est automatiquement satisfaite car tous les déclencheurs magnétiques ou électroniques, Instantanés ou Court-retard, conviennent :  $I_a = I_m$ . La tolérance maximale autorisée par sa norme pour son seuil de déclenchement doit cependant être prise en

considération. Il suffit donc que le courant de défaut  $\frac{U_0}{Z_s}$  ou  $0,8 \frac{U_0}{Z_c}$  déterminé

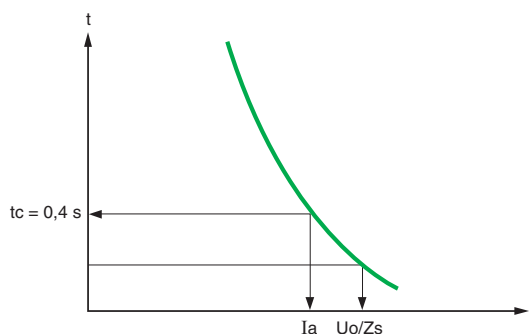
par le calcul (ou constaté sur site) soit supérieur au courant de déclenchement Instantané ou au seuil Court-retard, pour que la coupure soit assurée dans le temps spécifié.

#### Protection par fusible (cf. Fig. F15)

Le courant  $I_a$  qui assure la fusion dans le temps maximal spécifié se détermine à partir de la caractéristique temps/courant.

Il faut alors s'assurer que le courant de défaut  $\frac{U_0}{Z_s}$  ou  $0,8 \frac{U_0}{Z_c}$  déterminé comme ci-dessus, lui est bien supérieur.

La condition est donc  $I_a < \frac{U_0}{Z_s}$  ou  $0,8 \frac{U_0}{Z_c}$  comme indiqué sur la Figure F15.



**Fig. F15** : Mise en œuvre de la coupure en schéma TN par fusible

F9

**Exemple** : La tension phase neutre du réseau est 230 V et le temps maximal de coupure indiqué dans le tableau de la Figure F13 est 0,4 s. La valeur correspondante de  $I_a$  à ce temps de 0,4 s peut-être lue sur la caractéristique temps/courant du fusible (cf. Fig. F15). L'impédance maximale de la boucle de défaut  $Z_s$  ou de la boucle du circuit en défaut  $Z_c$  est calculée en prenant les valeurs de la tension (230 V) et du courant  $I_a$  soit  $Z_s = \frac{230}{I_a}$  ou  $Z_c = 0,8 \frac{230}{I_a}$ . Ces valeurs d'impédance ne doivent pas être dépassées et même devraient être nettement inférieures afin de garantir une protection contre les contacts indirects correcte par le fusible du fait des tolérances sur les courants de fusion<sup>(1)</sup>.

### Protection au moyen de DDR sur des circuits en schéma TN-S (ou sur la partie TN-S d'un schéma TN-C-S)

L'utilisation de DDR n'est possible qu'en schéma TN-S ou TN-C-S et est interdite en schéma TN-C (norme CEI 60364-4-41 §411.4.5). En schéma TN-C-S, l'utilisation d'un DDR signifie, bien évidemment, que le conducteur de protection (PE) et le conducteur neutre (N) sont séparés en amont du dispositif. Cette séparation est généralement réalisée au point d'entrée du bâtiment.

Les DDR peuvent être utilisés lorsque :

- l'impédance de boucle ne peut être précisément déterminée (difficulté pour estimer les longueurs de câble, éloignement du conducteur (PE) et/ou interposition d'éléments ferromagnétiques dans la boucle),
- le courant de défaut est trop faible pour que le temps de coupure des dispositifs de protection contre les surintensités respecte le temps maximal de coupure spécifié en schéma TN (cf. Fig. F13). Les sensibilités des DDR, de l'ordre de quelques milliampères à quelques ampères, sont très largement inférieures à l'intensité du courant de défaut. De ce fait, les DDR<sup>(2)</sup> sont toujours parfaitement adaptés à la protection des personnes en schéma TN.

En pratique, les DDR sont souvent installés sur des circuits de distribution et, dans beaucoup de pays, les DDR assurent la protection des personnes des circuits terminaux.

## 3.4 Coupure automatique lors du second défaut en schéma IT

Dans le schéma IT,

- l'installation est isolée de la terre ou un point de l'alimentation, généralement le neutre, est mis à la terre à travers une impédance (schéma IT impédant) ;
- les masses sont mises à la terre :
  - soit ensemble (interconnectées par un conducteur de protection PE et collectivement mises à la terre à la borne principale),
  - soit individuellement ou par groupes (mises à la terre à des prises de terre différentes).

### Le premier défaut

En présence d'un seul défaut d'isolement à la masse ou à la terre, appelé "premier défaut", le courant de fuite  $I_d$  est assez faible pour que la condition  $I_d \times R_A \leq 50 \text{ V}$  (cf. paragraphe 3.2) soit respectée et qu'aucune élévation dangereuse de potentiel des masses ne se produise. Dans ce type de schéma :

- un contrôleur permanent d'isolement est exigé. Il doit déclencher un signal sonore ou visuel à l'apparition du premier défaut (cf. Fig. F16),
- la recherche et l'élimination rapide du premier défaut est impérative pour bénéficier pleinement de la continuité de service qui est l'avantage prépondérant de ce schéma des liaisons à la terre.

*En schéma IT, on souhaite que la coupure automatique n'intervienne pas lors du premier défaut*

*La NF C 15-100, partie 537-3, recommande fortement la recherche de défaut.*



Fig. F16 : Contrôleur permanent d'isolement (CPI) obligatoire

(1) La norme CEI 60269 fusible BT définit des balises temps/courant au § 5.6.3. Par exemple, pour un fusible de calibre 16 A, un temps de fusion de 0.1 s correspond à un courant de fusion minimum de 85 A et maximum de 150 A. De plus ces caractéristiques sont définies à 20°.

(2) si certains DDR sont à déclenchement retardé, le réglage du temps de fonctionnement retardé de ces DDR doit respecter le temps maximal de coupure spécifié par la norme CEI 60364-4-41 (cf. Fig. F13).

### 3 Protection contre les contacts indirects

#### Exemple de calcul du courant et de la tension de défaut en IT (au premier défaut)

Pour un réseau de 1 km, l'impédance de fuite à la terre du réseau  $Z_f$  est de l'ordre de 3 500  $\Omega$ . L'ordre de grandeur du courant de fuite est de :

$$\frac{U_0}{Z_f} = \frac{230}{3\,500} = 66 \text{ mA par phase.}$$

En absence de défaut, les courants de fuite des phases à la terre sont pratiquement égaux et déphasés de 120° : de ce fait, leur somme vectorielle est nulle.

Si le schéma IT est à neutre distribué, l'impédance de fuite  $Z_{fn}$  du conducteur neutre est quasi identique à celle des phases mais le courant de fuite du conducteur neutre à la terre est naturellement nul car il n'y a pas de tension entre le neutre et la terre.

Note : l'hypothèse de tensions de phase équilibrées par rapport à la terre nécessite d'avoir des charges dont les fuites naturelles sont équilibrées par rapport à la terre, ce qui est rarement le cas.

L'exemple indiqué en **Figure F17** représente une installation en schéma IT impédant **F11**  
 ■ dont les masses sont collectivement mises à la terre,  
 ■ à neutre distribué (de même section),  
 ■ en situation de premier défaut d'isolement (phase à la terre).

Le courant de défaut  $I_d$  est la somme vectorielle :

■ du courant  $I_{d1}$  dû à l'impédance  $Z_c$  entre le neutre et la terre.

Du fait du défaut à la terre d'une phase, la tension terre neutre est une tension phase neutre soit  $U_0$ . Le courant  $I_{d1} = U_0/Z_c$  soit  $230/1500 = 153 \text{ mA}$ .

■ et du courant de fuite  $I_{d2}$  revenant à la source au travers de la résistance de terre  $R_{nA}$ .

Le courant de fuite  $I_{d2}$  est la somme vectorielle :

■ des courants capacitifs de fuite des 2 phases saines. La tension des phases saines par rapport à la terre est une tension phase phase (du fait du défaut sur la 3<sup>ème</sup> phase), de ce fait le courant de fuite de chacune des 2 phases saines est multiplié par  $\sqrt{3}$  par rapport au courant de fuite en absence de défaut. Ces 2 courants sont de plus déphasés de 60°.

Dans le présent exemple, la somme vectorielle des courants de défaut est égale à  $2 \times \sqrt{3}/2 \times \sqrt{3} \times 66 \text{ mA}$  soit 198 mA.

■ du courant capacitif de fuite du conducteur neutre. La tension du neutre par rapport à la terre est une tension phase neutre. Le courant de fuite est de ce fait  $U_0/Z_{fn}$  soit 66 mA dans notre exemple.

Par suite, le courant de défaut  $I_{d2}$  est la somme vectorielle de ces 2 courants. La composition vectorielle montre que le courant  $I_{d2}$  est égal à 198 mA + 66 mA soit 264 mA dans le présent exemple.

La tension de défaut  $U_f$  est toujours inférieure à la somme arithmétique :

■ de la tension aux bornes de la résistance de terre ( $R_{nA} \times I_{d2}$ ),

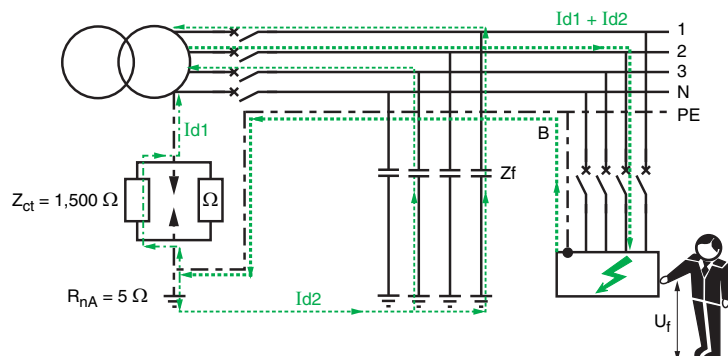
■ et de la chute de tension dans le conducteur neutre (quelques mV  $\times I_{d1}$  soit une tension totalement négligeable).

La tension de défaut  $U_f$  est de ce fait égale à  $R_{nA} \times I_{d2}$  soit  $5 \times 264 \times 10^{-3} = 1,32 \text{ V}$  tension sans danger pour les personnes.

En schéma IT, la valeur de la tension de défaut  $U_f$  au premier défaut est :

■ dépendante de l'étendue du réseau (capacité de fuite des câbles) mais reste pratiquement toujours très inférieure à 50 V,

■ quasi indépendante du type de schéma IT, schéma IT impédant, avec masses connectées à la terre individuellement ou par groupes, avec masses connectées à la terre ensemble.



**Fig. F17 :** Chemin du courant de défaut  $I_{d1}+I_{d2}$  en schéma IT impédant au premier défaut

La présence simultanée de deux défauts est dangereuse et la coupure automatique de l'alimentation doit être organisée en fonction de l'interconnexion des masses et de leur mise à la terre.

### Le deuxième défaut

A l'apparition d'un deuxième défaut à la terre, soit sur une autre phase ou soit sur le conducteur neutre, une coupure rapide de l'alimentation est obligatoire. Deux cas sont à considérer pour gérer la coupure de l'alimentation.

#### Premier cas

Ce cas concerne un schéma IT dans lequel les masses sont interconnectées par un conducteur de protection PE et collectivement mises à la terre, comme indiqué sur la Figure F18.

Dans ce cas, aucune résistance de terre ne se situe sur le chemin du courant de défaut. De ce fait, l'intensité du courant de deuxième défaut est obligatoirement très élevée donc les dispositifs de protection contre les surintensités, disjoncteur ou appareillage à fusible, peuvent être utilisés.

Dans un cas possible, les 2 défauts peuvent apparaître successivement à l'extrémité des 2 circuits de l'installation les plus éloignés entre eux et de la source.

Il est démontré que dans le cas le plus défavorable l'impédance de boucle de défaut est le double de l'impédance de boucle du circuit à protéger. De ce fait, il est nécessaire de doubler l'impédance de boucle du circuit pour calculer le niveau du courant de deuxième défaut présumé et le réglage de son dispositif de protection contre les surintensités.

De plus si le schéma IT est à neutre distribué, les courants de deuxième défaut les plus bas auront lieu quand un des défauts sera un défaut sur le conducteur neutre (en schéma IT les 4 conducteurs, phases et neutre, sont isolés de la terre). De ce fait, dans un schéma IT avec neutre distribué, la tension phase neutre  $U_0$  doit être utilisée pour le calcul de la valeur de réglage de la protection contre les courts-circuits

$$I_a \text{ soit } 0,8 \frac{U_0}{2 Z_c} \geq I_a \text{ (1) avec}$$

$U_0$  = tension phase neutre

$Z_c$  = impédance de la boucle du circuit en défaut (voir le paragraphe 3.2)

$I_a$  = courant assurant le fonctionnement du dispositif de protection contre les courts-circuit

Si le conducteur neutre n'est pas distribué alors la tension phase phase  $U_0/\sqrt{3}$  doit être utilisée pour le calcul de la valeur de réglage de la protection contre les courts-circuits  $I_a$  soit  $0,8 \frac{\sqrt{3} U_0}{2 Z_c} \geq I_a \text{ (1)}$ .

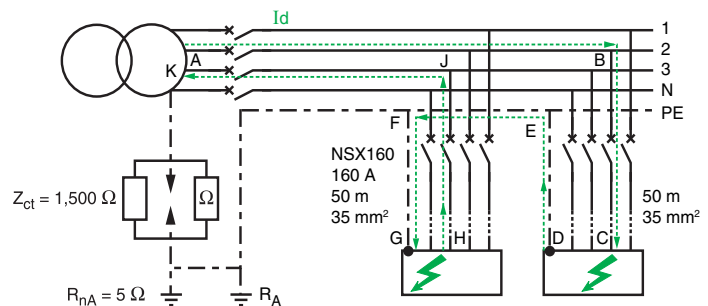


Fig. F18 : Coupure automatique par disjoncteur au deuxième défaut en schéma IT dans le cas où les masses sont interconnectées par un conducteur de protection PE et collectivement mises à la terre

#### ■ Temps maximal de coupure

Rappel : dans ce 1er cas, les masses sont interconnectées par un conducteur de protection PE et collectivement mises à la terre.

Les conditions de déclenchement sont identiques à celles du schéma TN soit :

□ pour tous les circuits terminaux dont le courant nominal ne dépasse pas 32 A, le temps maximal de coupure ne devra pas dépasser la valeur indiquée dans le tableau de la Figure F8,

□ pour les circuits de distribution et les autres circuits, le temps maximal de coupure est fixé à 5 s. Cette valeur limite rend possible la sélectivité entre les dispositifs de protection.

#### ■ Protection par disjoncteur

Dans le cas présenté en Figure 18, la protection des personnes peut être assurée par des disjoncteurs. Le réglage de la protection magnétique du disjoncteur est à effectuer en fonction de la valeur du courant deuxième défaut pour assurer son déclenchement. L'exigence du temps maximal de coupure (voir le tableau en Fig. 8) est naturellement satisfaite.

(1) fondé sur la méthode conventionnelle indiquée dans le 1er exemple du paragraphe 3.3

### 3 Protection contre les contacts indirects

La largeur de la plage de réglage des protections Instantané et court retard des déclencheurs Micrologic équipant les disjoncteurs Compact NSX160 permet d'assurer cette protection même dans le cas d'un départ de grande longueur.

#### Exemple de calcul de protection

Rappel : dans ce 1<sup>er</sup> cas, les masses sont interconnectées par un conducteur de protection PE et collectivement mises à la terre.

Comme il a été précisé l'impédance de boucle du circuit pour calculer sa protection au deuxième défaut, en utilisant la «méthode conventionnelle» (voir paragraphe 6.2) est égale à 2 fois celle calculée en schéma TN (voir le paragraphe 3.3).

La résistance de boucle du circuit  $FGHJ = 2R_{JH} = 2\rho \frac{L}{a}$  en  $m\Omega$  avec :

$\rho$  = résistivité d'un conducteur de 1 mètre de long et de section 1 mm<sup>2</sup>, en  $m\Omega$

$L$  = longueur des circuits en mètres

$a$  = section du conducteur en mm<sup>2</sup>

Soit la résistance de la boucle  $FGHJ = 2 \times 22,5 \times 50/35 = 64,3 m\Omega$ .

D'où la résistance de la boucle  $BCDEFGHJ$  est égale à  $2 \times 64,3 = 129 m\Omega$ .

Le courant de défaut est par suite égal à  $0,8 \times \sqrt{3} \times 230 \times 10^3/129 = 2 470 A$ .

#### ■ Protection par fusible

Le courant  $I_a$  qui assure la fusion du fusible dans le temps maximal spécifié se détermine à partir de la caractéristique temps/courant (cf. Fig. 15). Le courant  $I_a$  doit être nettement inférieur au courant de deuxième défaut du circuit protégé (voir paragraphe 3.3 «protection par fusible»).

#### ■ Protection par DDR ou par disjoncteurs différentiels

Lorsque les courants de deuxième défaut sont de très faible valeur, en particulier sur les circuits de distribution de très grande longueur et/ou sur les circuits terminaux, la protection des personnes contre les contacts indirects est réalisée au niveau de chaque circuit par des DDR ou par des disjoncteurs différentiels comme pour le deuxième cas développé ci-après.

#### Deuxième cas

Ce cas concerne un schéma IT dans lequel :

- les masses sont soit individuellement mises à la terre (chaque appareil a sa propre prise de terre), soit par groupes (pour chaque groupe, les masses des appareils sont interconnectées à la prise de terre propre au groupe) ;
- le deuxième défaut apparaît sur un circuit appartenant à un groupe différent de celui du circuit en premier défaut, ou sur un appareil individuellement mis à la terre. Dans le deuxième cas, les résistances de terre des 2 circuits en défaut se situent sur le chemin du courant de défaut et de ce fait, limitent fortement l'intensité du courant de deuxième défaut. Les dispositifs de protection contre les surintensités, disjoncteurs ou appareillages à fusibles, ne peuvent plus être utilisés pour la protection des personnes.

#### Protection par DDR ou par disjoncteur différentiel

La protection des personnes contre les contacts indirects est réalisée par des DDR sur le circuit alimentant

- un groupe d'appareil (mise à la terre par groupe),
- ou un appareil (mise à la terre individuelle) (cf. Fig. F20).

Le réglage des DDR est similaire à la protection des personnes en schéma TT, en particulier le temps maximal de coupure.

Néanmoins, il est nécessaire lors de la conception du projet de tenir compte des courants de fuite au premier défaut sur les circuits ou le groupe de circuits protégé par un DDR (voir le tableau de la Figure F19).

**Note** : Si le deuxième défaut apparaît sur un circuit appartenant au même groupe que celui du circuit en premier défaut, les dispositifs de protection contre les surintensités assureront aussi comme dans le 1<sup>er</sup> cas la protection des personnes contre les contacts indirects.

Capacité de fuite du réseau (μF)	Courant de 1 <sup>er</sup> défaut (A)
1	0,07
5	0,36
30	2,17

**Nota** : 1 μF est la capacité de fuite typique de 1 km de câble tétrapolaire.

Fig. F19 : Courant de fuite en fonction de la capacité du réseau.

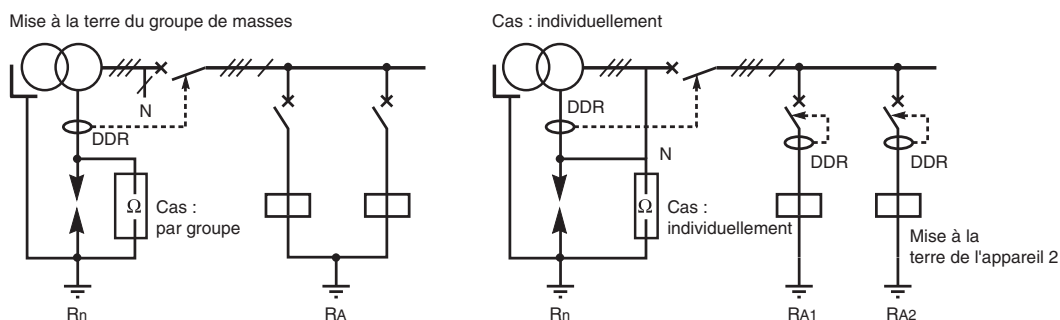



Fig. F20 : Mise en œuvre de DDR en fonction de la mise à la terre des masses en IT : par groupe ou individuellement

La très basse tension s'utilise lorsque le risque est très élevé : piscines, des lampes baladeuses et autres appareils électriques portatifs pour usage extérieur, etc.

### 3.5 Mesures de protection contre les contacts directs ou indirects sans coupure automatique de l'alimentation

La protection par l'utilisation de la très basse tension TBTS ou la limitation de l'énergie de décharge sont des mesures de protection contre les contacts directs et indirects tout à la fois.

#### Emploi de la très basse tension TBTS

Cette mesure consiste à alimenter des circuits en très basse tension fournie par un transformateur de sécurité, conforme à la NF C 52-742 ou présentant une sécurité équivalente (écran métallique, entre primaire et secondaire, relié à la terre) de tension secondaire < 50 V (par exemple transformateur de sécurité : norme NF C 52-742, symbole )

La TBTS s'utilise lorsque le risque est très élevé (piscines, parcs de loisirs, etc.). Cette mesure consiste à alimenter les circuits par le secondaire à très basse tension d'un transformateur d'isolement spécial de sécurité fabriqué selon la norme CEI 60558-2-6 ou les normes nationales appropriées. Ce type de transformateur a un niveau de tenue aux chocs électriques de l'isolation primaire/secondaire très élevé, et/ou comporte un écran métallique mis à la terre implanté entre ses enroulements primaire et secondaire. La tension au secondaire ne dépasse pas 50 V efficace.

Trois autres conditions essentielles doivent être respectées pour considérer cette mesure comme satisfaisant à la protection contre les contacts indirects :

- aucune partie active du réseau TBTS ne doit être reliée à la terre,
- les masses des matériels électriques alimentés en TBTS ne doivent être reliées ni à la terre, ni à des masses d'autres circuits, ni à des éléments conducteurs,
- les parties actives de circuits TBTS et d'autres circuits alimentés en tension plus élevée doivent présenter entre eux une séparation au moins équivalente à celle existant entre enroulements primaire et secondaire d'un transformateur de sécurité (double isolation).

Il résulte des mesures précédentes que :

- les circuits TBTS doivent emprunter des canalisations distinctes, à moins d'utiliser des câbles multipolaires (ou conducteurs isolés sous conduits isolants) prévus pour une tension au moins égale à la plus élevée des autres circuits,
- les socles de prises de courant ne doivent pas comporter de contact de terre. Ces socles et les fiches correspondantes doivent être d'un type spécial pour éviter toute connexion avec celles de circuit de tension plus élevée.

**Note** : dans les conditions normales, si la tension nominale du circuit TBTS est inférieure à 25 V, des dispositifs de protection contre les contacts directs ne sont pas nécessaires (des recommandations particulières sont indiquées dans le Chapitre P paragraphe 3).

#### Emploi de la très basse tension TBTP

La très basse tension de protection -TBTP- est utilisée pour un usage général quand une très basse tension est requise, ou préférée pour des raisons de sécurité dans des emplacements autres que ceux à haut risque mentionnés ci-dessus. La conception est similaire à celle des circuits TBTS, mais le circuit secondaire a un point relié à la terre.

La protection des personnes contre les contacts directs est généralement nécessaire, sauf si :

- l'équipement est dans une zone équipotentielle,
- la tension nominale n'excède pas 25 V efficace,
- l'équipement est seulement utilisé dans un local sec,
- aucun contact sur une grande surface avec le corps humain ne peut se produire.

Dans tous les autres cas, 12 V efficace est la tension maximale permise pour ne pas mettre en place une protection des personnes contre les contacts directs.

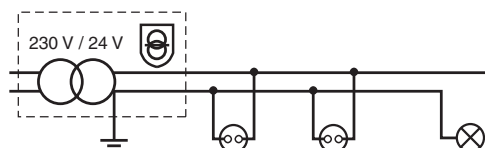


Fig. F21 : Alimentation par transformateur de sécurité 230 V/24 V

F14

### 3 Protection contre les contacts indirects

La séparation électrique des circuits convient à des circuits de longueur limitée et d'un bon niveau d'isolement. De préférence, son emploi se limite à l'alimentation d'un seul appareil.

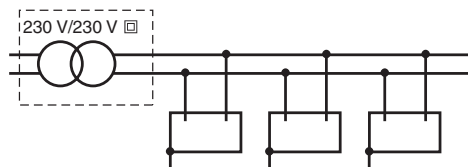


Fig. F22 : Alimentation de sécurité par transformateur de séparation en classe II

Symbole du transformateur de séparation selon NF C 52-742 :

Symbole caractéristique d'un matériel de classe II :

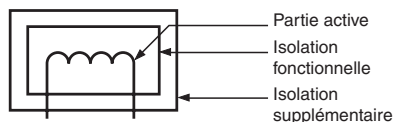


Fig. F23 : Principe du matériel de classe II

#### Séparation électrique des circuits (cf. Fig. F22)

La séparation électrique des circuits convient à des circuits de longueur limitée et d'un bon niveau d'isolement.

Cette mesure consiste à alimenter un circuit au moyen d'un transformateur de séparation (par exemple 230/230 V) ou d'un transformateur présentant entre enroulements primaire et secondaire une séparation de sécurité équivalente (présence d'un écran en particulier). Le transformateur doit être de classe II. L'objectif est de n'offrir, en cas de défaut d'isolement, aucun chemin de retour possible au courant.

Pour cela, les 3 conditions suivantes sont nécessaires :

- le circuit séparé ne doit avoir aucun point relié à la terre (conducteurs actifs et masses isolées de la terre),
- le circuit séparé est de faible étendue afin d'éviter le retour du courant par les capacités réparties des câbles,
- bon isolement des circuits et des récepteurs, pouvant se vérifier par un simple examen visuel.

Ces conditions font que cette mesure est en général limitée à un seul récepteur.

Dans le cas où plusieurs récepteurs sont alimentés par une seule source de séparation, il faut respecter en plus les prescriptions suivantes :

- les masses de ces récepteurs doivent être reliées entre elles par un conducteur de protection non relié à la terre,
- les socles de prises de courant doivent être munis d'un contact de terre (servant à l'interconnexion des masses).

En cas de 2 défauts d'isolement simultanés, un dispositif de protection doit assurer la coupure dans les mêmes conditions que celles définies pour un régime IT.

#### Emploi de matériel de classe II

Ces matériels sont aussi connus sous l'appellation "double isolation" ou "double isolement" (cf. Fig. F23). Leur particularité est que leur masse ne doit pas être connectée à un conducteur de protection (PE).

■ La plupart des récepteurs portatifs ou semi-fixes, certains luminaires, des transformateurs, sont conçus avec une double isolation. Il est important de prendre un soin tout particulier à l'exploitation et à la vérification fréquente de ces matériels si on veut conserver leur classe II (cf. NF C 15-100 § 412). Les appareils électroniques de radio et de télévision présentent un niveau de sécurité équivalent mais ils ne sont pas formellement de classe II.

■ La NF C 15-100 reconnaît certains câbles comme présentant le niveau de sécurité de classe II.

■ Isolation supplémentaire dans une installation électrique.

La norme CEI 60364-4-41 § 413-2 et certaines normes nationales comme la NF C 15-100 (France) décrivent en détail la manière et les mesures à prendre pour réaliser une isolation supplémentaire lors des travaux d'installation.

■ Isolation totale.

La norme CEI 60439, concernant les "ensembles d'appareillage Basse Tension" définit les conditions de réalisation d'équipements présentant une sécurité équivalente à la classe II (ils sont appelés "matériels à isolation totale"). Si le coffret est commercialisé nu, il peut, au plus, être conçu pour permettre à l'installateur de réaliser sous sa responsabilité un ensemble équivalent à la classe II, en respectant les conditions de mise en œuvre de la mesure suivante dite "isolation supplémentaire à l'installation".

#### Isolation supplémentaire à l'installation

Cette mesure consiste à réaliser lors de l'installation une isolation des parties actives procurant une sécurité équivalente à celle des matériels de classe II.

Parmi toutes les conditions à respecter et définies dans la NF C15-100 § 558-3-1-2-2, on peut citer celles-ci :

- le matériel, une fois installé et raccordé, doit pouvoir supporter une tension de 4 000 V entre parties actives et parties métalliques extérieures (pendant une minute),
- l'enveloppe ne doit pas comporter de vis en matière isolante qui pourrait être remplacée par une vis métallique,
- aucune partie conductrice intermédiaire ou extérieure ne doit être reliée à un conducteur de protection,
- le symbole ou doit être apposé à l'intérieur comme à l'extérieur de l'équipement.

F15

### 3 Protection contre les contacts indirects

Par principe, l'éloignement, ou l'interposition d'obstacles, nécessite un sol isolant et n'est donc guère employé.

#### Eloignement ou interposition d'obstacles

Le principe de ces mesures, est de rendre extrêmement faible la probabilité de toucher simultanément une masse présentant un défaut d'isolement et un élément conducteur relié à la terre (cf. Fig. F24).

En pratique, cette mesure est limitée à un local ou un emplacement sec. Elle est mise en œuvre en respectant les conditions suivantes :

- le sol et les parois du local doivent être isolants, c'est-à-dire de résistance :
  - > 50 kΩ en BTA (tension ≤ 500 V),
  - > 100 kΩ en BTB (500 V < tension ≤ 1 000 V) ;
- la disposition doit être telle qu'une personne ne puisse pas toucher simultanément 2 masses, ou une masse et n'importe quel élément conducteur,
- aucun conducteur de protection ne doit être prévu, aucun élément conducteur relié à la terre ne doit être introduit dans le local,
- l'accès au local doit être conçu de façon à éviter que les personnes ne puissent être soumises à une différence de potentiel dangereuse.

F16

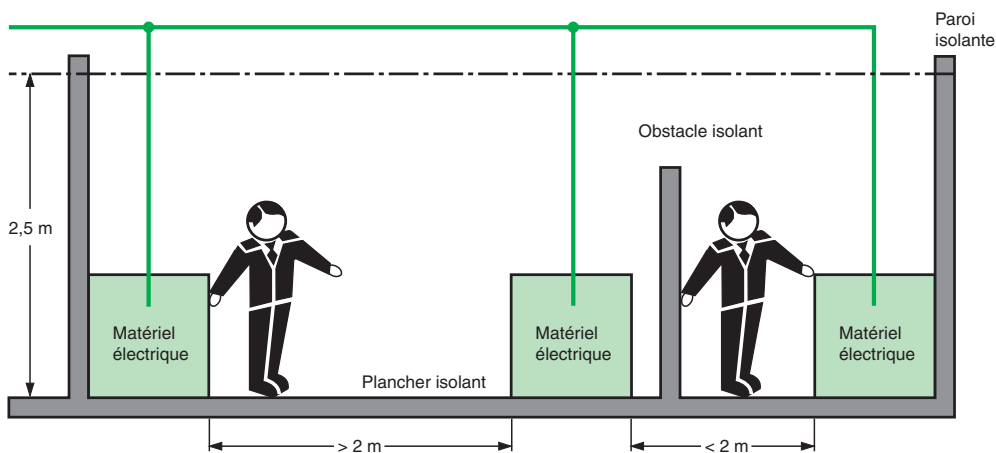


Fig. F24 : Protection par éloignement ou interposition d'obstacle

La liaison équipotentielle locale est limitée à des cas particuliers difficiles à traiter et est réservée à des environnements restreints.

#### Liaisons équipotentielles locales non reliées à la terre

Par cette mesure, on réalise l'équipotentialité entre les masses et tous les éléments conducteurs simultanément accessibles. On empêche ainsi l'apparition d'une tension de contact dangereuse. En pratique, cette mesure est limitée à un emplacement peu étendu (exemple "un poste de travail" ) où d'autres mesures sont difficilement applicables. Des dispositions doivent être prises pour assurer l'accès à l'emplacement sans soumettre les personnes à une différence de potentiel dangereuse.

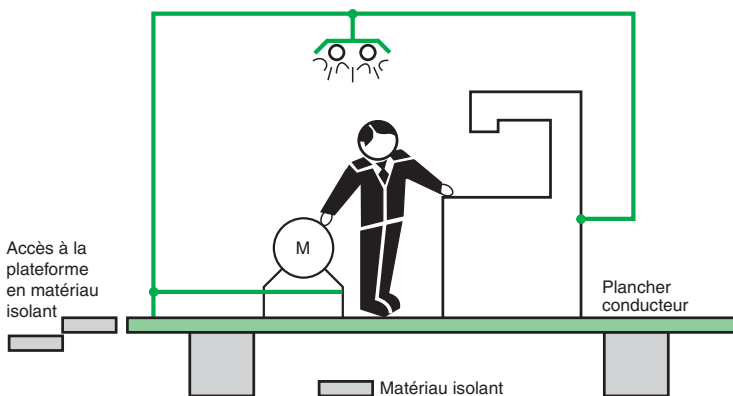


Fig. F25 : Liaison équipotentielle de toutes les masses et éléments conducteurs simultanément accessibles



## 4 Protection incendie dans le cas d'un défaut d'isolement

Des études ont montré que le coût des dégâts causés par des défauts d'isolement étaient particulièrement élevés (principalement liés aux incendies générés). De ce fait pour les locaux présentant un risque d'incendie élevé, des DDR de sensibilité 300 mA doivent être utilisés. Pour les autres locaux ou emplacements, certaines normes, comme le NEC (National Electrical Code - USA), recommandent ou imposent l'utilisation de dispositifs appelés Ground Fault Protection (GFP) dénommés aussi «protection Terre».

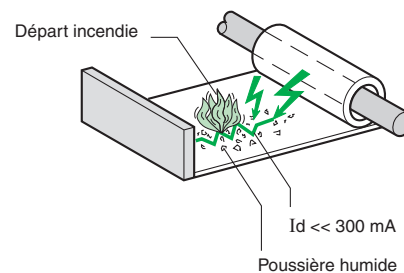
*Les DDR sont des dispositifs très efficaces pour assurer la protection contre les risques d'incendie car ils peuvent détecter et éliminer des faibles courants de défaut (par exemple 300 mA) qui ne sont pas détectables par les autres dispositifs de protection, mais suffisamment importants pour amorcer un incendie.*

### 4.1 Mesures de protection des biens contre le risque d'incendie

Les DDR sont des dispositifs efficaces pour assurer ce type de protection, car seul le niveau de courant permet de gérer le risque. Pour les schémas TT, IT, TN-S, le risque d'incendie d'origine électrique est pallié par l'utilisation de DDR de 300 mA.

Une étude sur des incendies en milieu industriel et tertiaire a révélé que leur coût est très élevé. L'analyse des phénomènes montre que le risque d'incendie d'origine électrique fait apparaître deux causes principales.

- Les échauffements non maîtrisés créés par des protections de canalisations mal réglées ou des impédances de boucle de défaut mal évaluées (principalement dues à la vétusté, au manque de maintenance de l'installation). Les protections thermiques n'ayant pas joué leur rôle, des échauffements excessifs dus aux surintensités ou aux courts-circuits se sont produits dans l'installation, entraînant un incendie.
- Des créations et des cheminements d'arcs électriques en présence d'humidité. Ces arcs se développent avec des boucles de défaut impédantes ( $Z > 0,6 \Omega$ ) et n'apparaissent que lors de défaut d'isolement ou lors de circulation de courants vagabonds. Un courant de 300 mA présente un réel risque d'incendie (cf. **Fig. F26**).



Des essais ont montré qu'un courant de défaut d'isolement de très faible valeur (quelques mA) peut se développer et, à partir d'un courant de 300 mA, générer, dans un environnement de poussières humides, un départ d'incendie.

**Fig. F26** : Origine des incendies dans les bâtiments

### Prévention dans les locaux à risque d'incendie et d'explosion

La norme CEI 60364-4-42 § 422.3.10 impose l'installation d'un DDR moyenne sensibilité (DDR-MS  $I_{\Delta n} \leq 500$  mA) sur les circuits présentant un risque d'incendie. Cette protection peut être obligatoire dans certains pays.

**Note** : une sensibilité de 300 mA est préférable (voir ci-avant paragraphe 4.1)

La norme d'installation NF C 15-100 § 42 définit les différentes catégories de bâtiments présentant des risques :

- d'incendie (BE2 ; § 422) pour laquelle elle précise les exigences particulières à mettre en œuvre, soit pour cette catégorie de bâtiment, soit :
  - aux § 422.1.7 et 424.10, l'utilisation de DDR à seuil réglé à 300 mA,
  - aux § 422.1.9 et 424.11, l'interdiction de la mise en œuvre du schéma TN-C.
- d'explosion (BE3 ; § 424).

Ces textes sont harmonisés avec les textes européens (CENELEC). D'une manière générale, elle recommande l'utilisation des DDR pour tous les types d'installation BT comme dispositifs préventifs du risque d'incendie. Cette protection peut être installée en tête de l'installation du local à risque.

# 4 Protection incendie dans le cas d'un défaut d'isolement

## 4.2 Protection Terre ou Ground Fault Protection (GFP)

### Ces dispositifs ne sont opérationnels qu'en schéma TN-S

(cf. Fig. F27)

Les différents types de dispositifs de protection Terre :

■ Residual Sensing RS

Le courant de défaut d'isolement est mesuré en faisant la somme arithmétique des courants au secondaire de transformateurs de courants placés sur chacune des phases et sur le neutre. Ce type de protection peut être intégré dans les déclencheurs des disjoncteurs (par exemple déclencheur Micrologic 6 E équipant les disjoncteurs Compact NSX).

■ Source Ground Return (SGR)

Le courant de défaut d'isolement est mesuré par un transformateur de courant sur la mise à la terre de l'installation (liaison neutre terre).

■ Zero Sequence (ZS)

Le courant de défaut d'isolement est mesuré par un transformateur de courant entourant les phases et le neutre du circuit contrôlé. Ce type de GFP n'est utilisé que pour de faibles valeurs de courants de défaut. Un DDR de très basse sensibilité, par exemple Vigirex de sensibilité 30 A, peut être utilisé pour cette fonction.

F18

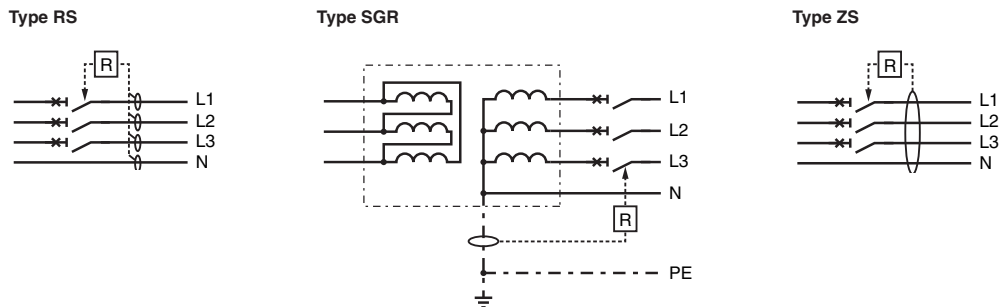


Fig. F27 : Les différents types de dispositif de protection Terre (GFP)

### Utilisation des dispositifs GFP suivant leur position dans l'installation

Type/position dans l'installation	TGBT	Distribution de puissance	Commentaires
Source Ground Return	□		Utilisé
Residual Sensing (RS)	□	■	Souvent utilisé
Zero Sequence	□	■	Rarement utilisé

□ Possible

■ Recommandé ou imposé