

5.1 Protection contre les contacts indirects

Cas général

La protection contre les contacts indirects est assurée par des DDR dont la sensibilité $I\Delta n$ respecte la condition : $I\Delta n \leq \frac{50 V}{R_A}$

Le choix de la sensibilité du dispositif différentiel, fonction de la résistance de la prise de terre, est donné par le tableau **F28**.

Type DDR	$I\Delta n$	Résistance maximale de la prise de terre (Ω)
Basse sensibilité (BS)	30 A	1,6
	3 A	16
Moyenne sensibilité (MS)	1 A	50
	500 mA	100
	300 mA	167
	100 mA	500
Haute sensibilité (HS)	30 mA	≥ 1667

Fig. F28 : Limite supérieure de la résistance de la prise de terre des masses à ne pas dépasser en fonction de la sensibilité des DDR et de la tension limite $U_L = 50 V$ CA (d'après tableau 53B de la norme NF C 15-100-5-53)

Cas des circuits de distribution (cf. Fig. F29)

La NF C 15-100 autorise un temps maximal de déclenchement de 5 s.

La norme CEI 60364-4-41 § 411.3.2.4 et certaines normes nationales autorisent un temps maximal de coupure de 1s pour les circuits de distribution. Cela permet de mettre en œuvre la sélectivité des protections par DDR :

- au niveau A : DDR retardé par exemple de type S,
- au niveau B : DDR instantané.

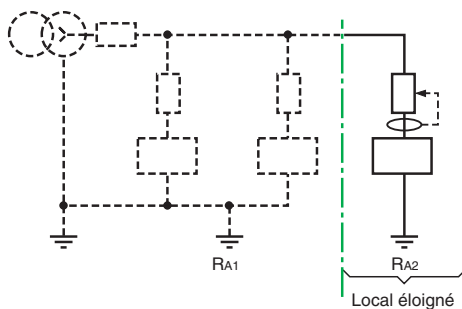


Fig. F30 : Prise de terre séparée

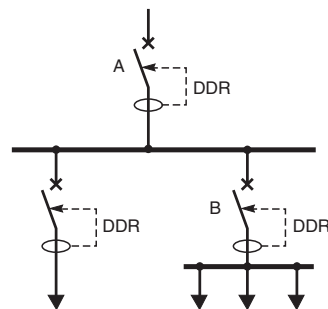


Fig. F29 : Circuits de distribution

Cas où une masse ou un groupe de masses est relié à une prise de terre séparée (cf. Fig. F30)

Protection contre les contacts indirects par DDR en tête de chaque groupe de masses relié à une prise de terre distincte. La sensibilité doit être adaptée à la résistance R_{A2} de la prise de terre.

5.2 Coordination des protections différentielles

Elle est assurée, soit par la sélectivité, soit par la sélection des circuits, ou par l'une et l'autre.

La sélection consiste à subdiviser les circuits et à les protéger individuellement ou par groupes.

La sélectivité évite le déclenchement du dispositif amont lorsque le défaut est éliminé par le dispositif aval sollicité.

■ La sélectivité peut être à trois niveaux, ou même quatre, lorsque l'installation comporte un tableau général Basse Tension, des tableaux secondaires et des tableaux terminaux.

■ C'est en général, au niveau du tableau terminal, que sont placés les dispositifs de coupure automatique pour assurer la protection contre les contacts indirects et la protection complémentaire contre les contacts directs.

Sélectivité des DDR entre-eux

Les règles de sélectivité pour réaliser une sélectivité totale entre 2 DDR imposent les 2 conditions suivantes :

■ condition de déclenchement : la sensibilité du DDR situé en amont doit être au moins 2 fois celle du DDR situé en aval. D'un point de vue pratique, cette condition s'obtient par l'étagement des valeurs normalisées (normes produits CEI 60755, CEI 60009, CEI 60747-2 annexe B et annexe M) : 30 mA, 100 mA, 1A, ..., 30A,

■ condition de temporisation : la temporisation de déclenchement du DDR situé en amont doit être supérieure au temps total de coupure du DDR aval.

D'un point de vue pratique, cette condition est obtenue lorsque le DDR et l'organe de coupure associé vérifient les courbes de non déclenchement et de déclenchement de la Figure F31.

Note : il est impératif de vérifier que le temps de coupure du DDR situé en amont est inférieur au temps maximal de coupure spécifié.

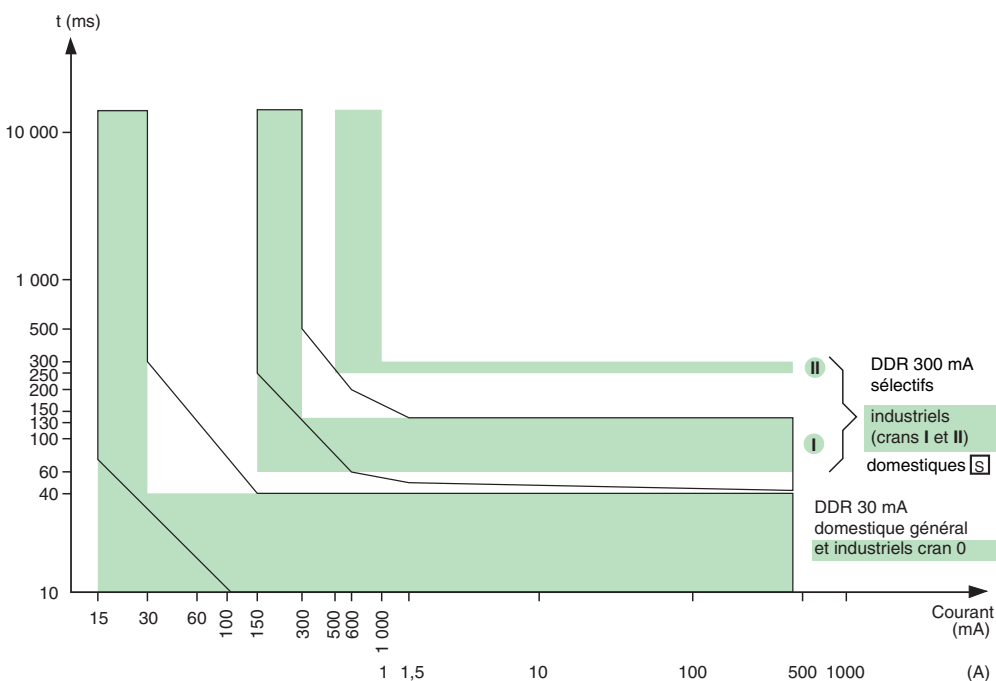


Fig. F31 : DDR sélectifs entre-eux

5 Mise en œuvre du schéma TT

Sélectivité totale à 2 niveaux (cf. Fig. F32)

Protection

- En **A** : DDR-MS retardé (cran I) ou de type S pour la protection contre les contacts indirects.
- En **B** : DDR-HS sur les circuits pour socles de prises de courants ou les circuits pour les récepteurs à risque.

Solutions Schneider Electric

- En **A** : disjoncteur différentiel adaptable Vigicomact ou Multi 9, cran I ou type S.
- En **B** : disjoncteur différentiel intégré Multi 9 ou adaptable (ex : Vigi C60 ou Vigi C120) ou Vigicomact.

Nota : le réglage du DDR amont doit intégrer les règles de sélectivité et tenir compte de tous les courants de fuite en aval.

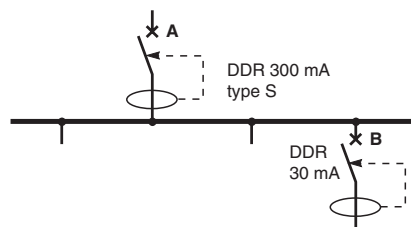


Fig. F32 : Sélectivité totale à 2 niveaux

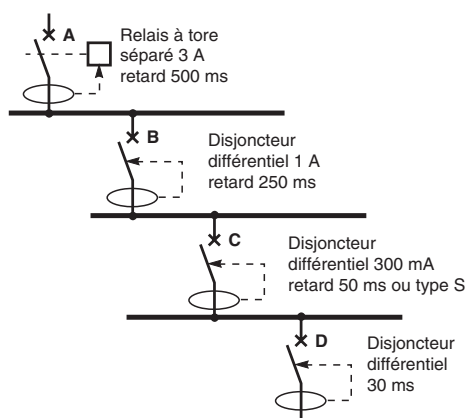


Fig. F33 : Sélectivité totale à 4 niveaux

Sélectivité totale à 3 ou 4 niveaux (cf. Fig. F33)

Protection

- En **A** : DDR-MS retardé (cran III).
- En **B** : DDR-MS retardé (cran II).
- En **C** : DDR-MS retardé (cran I) ou de type S.
- En **D** : DDR-HS instantané.

Solutions Schneider Electric

- En **A** : DDR à tore séparé (Vigirex RH328AP).
- En **B** : Vigicomact ou Vigirex.
- En **C** : Vigirex, Vigicomact ou Vigi C60.
- En **D** :
 - Vigicomact ou,
 - Vigirex ou,
 - Multi : Vigi C60.

Nota : le réglage de chaque DDR amont doit intégrer les règles de sélectivité et tenir compte de tous les courants de fuite en aval.

F21

Sélectivité différentielle verticale (cf. Fig. F34)

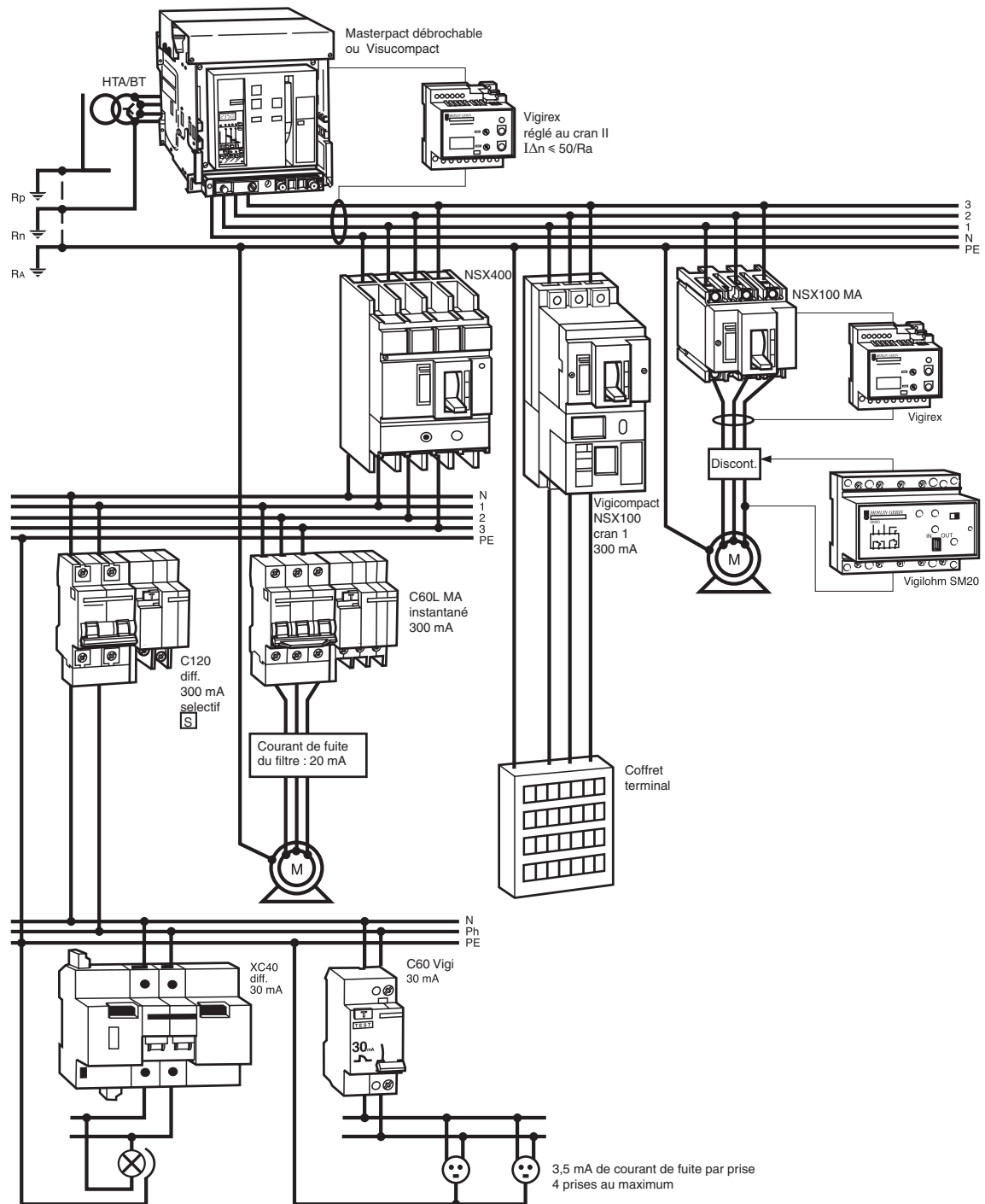


Fig. F34 : Exemple classique de réalisation d'une installation à 3 niveaux de sélectivité illustrant la protection des circuits de distribution, des circuits terminaux en schéma TT. Le moteur est pourvu de ses protections spécifiques.

5 Mise en œuvre du schéma TT

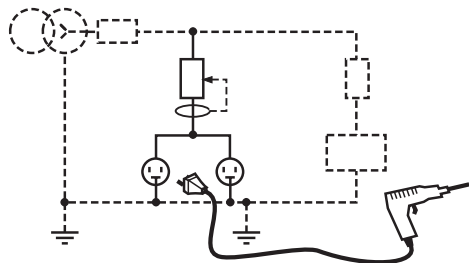


Fig. F35 : Circuit de prise de courant

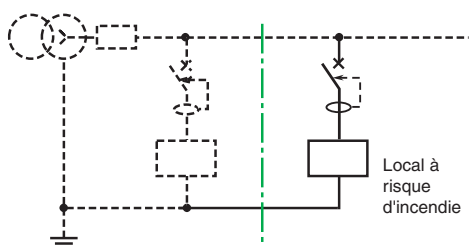


Fig. F36 : Local à risque d'incendie

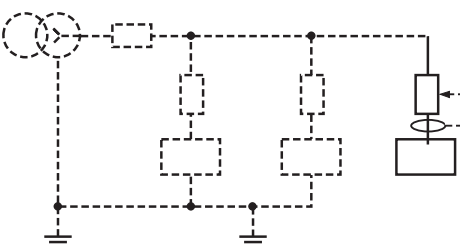


Fig. F37 : Masse non reliée à la terre

5.3 Dispositif différentiel haute sensibilité (DDR- HS) (cf. Fig. F35)

La norme CEI 60364-4-41 § 415.1.1 reconnaît comme une mesure efficace la protection complémentaire des personnes contre les contacts directs par des DDR haute sensibilité (DDR-HS $I_{\Delta n} \leq 30$ mA).

La norme CEI 60364-4-41 § 411.3.3 impose cette protection complémentaire (quelque soit le schéma des liaisons à la terre) sur les circuits alimentant :

- des socles de prise de courant de courant assigné ≤ 20 A pour tous les types d'emplacements.
- les appareils portatifs de courant assigné ≤ 32 A destinés à être utilisés à l'extérieur.

Note : dans certains pays comme la France (norme NF C 15-100 § 411.3.3), 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).

D'autres situations où des DDR-HS sont imposés ou recommandés (en particulier sur les circuits alimentant des socles de prise de courant), sont décrites dans la série 7 de la norme CEI 60364 : par exemple 701 (salle de bain), 702 (piscine), 704 (installation de chantier), 705 (établissement agricole), 708 (parcs de caravanes), 709 (marinas) etc.
Voir le chapitre P paragraphe 3.

5.4 Prévention dans les locaux à risque d'incendie et d'explosion (cf. Fig. F36)

Le schéma TT en limitant naturellement l'intensité des courants de défaut est bien adapté pour l'alimentation des locaux à risque d'incendie et d'explosion. La gestion de ces risques est traitée au paragraphe 4.

Rappel :

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.

La norme d'installation NF C 15-100 § 42 impose l'installation d'un DDR moyenne sensibilité (DDR-MS $I_{\Delta n} \leq 300$ mA) sur les circuits présentant un risque d'incendie. Cette valeur est retenue par les textes européens (CENELEC).

5.5 Protection lorsqu'une masse n'est pas reliée à la terre (cf. Fig. F37)

La non mise à la terre d'une masse est tolérée seulement dans une installation existante pour des locaux ou emplacements secs lorsque la réalisation d'une prise de terre n'est pas possible.

La protection doit être alors assurée par un DDR "haute sensibilité" (≤ 30 mA) sur le départ correspondant. Ce cas est analogue à celui où la résistance de terre est > 1667 Ohm (cf. tableau de la Figure F28).

F23

F24

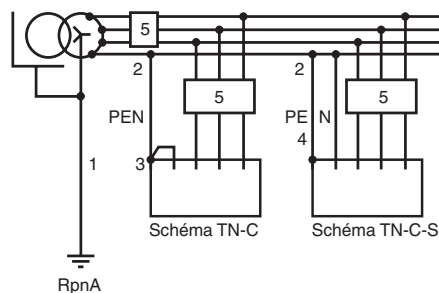
6.1 Conditions préalables

Cette mise en œuvre se fait à la conception par le calcul des longueurs maximales de câble à ne pas dépasser en aval d'un disjoncteur ou d'un fusible, et à l'installation par le respect de certaines règles de l'art.

Certaines conditions devant être observées sont énumérées ci-dessous et représentées sur la **Figure F38** :

- répartir uniformément des prises de terre sur le parcours du conducteur PE,
- faire cheminer le conducteur de protection PE (ou PEN) à côté des phases sans interposer d'élément ferromagnétique,
- raccorder le conducteur PEN sur la borne "masse" du récepteur,
- lorsque la section est $\leq 6 \text{ mm}^2$ cuivre ou 10 mm^2 aluminium ou en présence de canalisations mobiles, séparer le neutre et le conducteur de protection (schéma TN-S),
- déclenchement au premier défaut d'isolement par dispositif de protection classique, à titre d'exemple par disjoncteur Compact NSX.

La figure ci-dessous résume les conditions à respecter pour la mise en œuvre de la protection contre les contacts indirects en schéma TN.



Nota :

- (1) En schéma TN, les masses du poste, le neutre BT et les masses d'utilisation doivent être reliées à une même prise de terre.
- (1) (2) Pour un poste à comptage BT, il faut un appareil à coupure visible en tête de l'installation.
- (3) Le conducteur PEN ne doit être ni coupé, ni comporter d'appareillage. Les appareils de protection seront donc :
- tripolaires lorsque le circuit comporte un conducteur PEN,
 - tétrapolaire (3P+N) lorsque le circuit comporte un conducteur neutre et un conducteur PE.

Fig. F38 : Mise en œuvre du schéma TN

Trois méthodes de calcul sont habituellement utilisées :

- la méthode des impédances, fondée sur le calcul exact de l'impédance totale comme étant la somme des impédances complexes de chacun des circuits,
- la méthode de composition,
- la méthode conventionnelle, à partir d'une valeur de chute de tension présumée et l'utilisation de tables.

6.2 Protection contre les contacts indirects

Méthodes de détermination de la protection

Dans un schéma TN, un courant de défaut à la terre est équivalent à un courant de court-circuit qui aura, en principe, toujours une valeur suffisante pour faire déclencher les dispositifs de protection contre les surintensités.

Les impédances de la source et de la distribution amont sont nettement plus faibles que celles des circuits de la distribution BT, de ce fait la limitation de l'intensité du courant de défaut ne sera due qu'à l'impédance des circuits de la distribution BT (en particulier pour les circuits terminaux, les longs câbles souples d'alimentation des appareils augmentent de façon sensible l'impédance de la boucle de défaut).

Les plus récentes recommandations de la CEI pour la protection des personnes contre les contacts indirects ne spécifient uniquement que le temps maximal de coupure imposé en fonction de la tension nominale du réseau BT (cf. Figure F13 paragraphe 3.3).

Le raisonnement soutenant ces recommandations est que pour les schémas TN, l'intensité du courant de défaut qui doit circuler pour élever le potentiel des masses à des tensions de 50 V et plus, est si importante que :

- soit le chemin de défaut se vaporise quasi instantanément et élimine de ce fait le défaut,

6 Mise en œuvre du schéma TN

■ soit le conducteur fond en se soudant aux masses en contact, crée un chemin de défaut solide permettant la circulation d'un courant de court-circuit qui fait déclencher les dispositifs de protection contre les surintensités.

Pour assurer un fonctionnement correct des dispositifs de protection contre les surintensités dans ce dernier cas, une évaluation relativement précise du niveau d'intensité du courant de défaut à la terre, courant équivalent à un court-circuit phase terre, pour chaque circuit doit être réalisée à la conception du projet.

Une analyse rigoureuse requiert l'utilisation de la méthode des composantes symétriques appliquées à chacun des circuits. Le principe est parfaitement exact mais le nombre considérable de calculs à effectuer n'est pas jugé efficace du fait que la valeur des composantes symétriques (directe, inverse, homopolaire) des impédances est extrêmement difficile à déterminer avec un degré raisonnable de précision dans une installation BT moyenne.

D'autres méthodes permettant un calcul avec une bonne précision, sont préférées. Les 3 méthodes pratiques suivantes sont utilisées :

■ **la méthode des impédances**, fondée sur la sommation des impédances complexes (c'est à dire faire séparément la sommation de toutes les résistances et de toutes les réactances puis calculer l'impédance correspondante) de la boucle de défaut depuis (et y compris) la source jusqu'au point de l'installation considéré pour chaque départ.

■ **la méthode de composition**, qui permet une estimation du courant de court circuit maximal à l'extrémité d'une canalisation en connaissant :

- le courant de court-circuit à l'origine de la canalisation,
- l'impédance de la canalisation.

■ **la méthode conventionnelle**, qui permet une estimation du courant de court circuit minimal directement à partir de tableaux indiquant immédiatement le résultat.

Ces méthodes sont fiables uniquement si tous les conducteurs (en particulier dans le cas de câbles) participant à la boucle de défaut cheminent à côté les uns des autres et ne sont pas séparés par des matériaux ferromagnétiques.

Méthode des impédances

Elle consiste à déterminer toutes les valeurs des résistances et des réactances de la boucle de défaut et à calculer le courant de court-circuit en utilisant la formule :

$$I = \frac{U_0}{\sqrt{(\sum R)^2 + (\sum X)^2}}$$

$(\sum R)^2$ = carré de la somme de toutes les résistances du circuit.

$(\sum X)^2$ = carré de la somme de toutes les réactances du circuit.

L'application n'en est pas toujours facile car elle suppose connues toutes les caractéristiques des différents éléments de la boucle de défaut. Mais le guide C15-105 donne les éléments nécessaires.

Méthode de composition

Elle permet de déterminer le courant de court-circuit à l'extrémité d'un circuit en connaissant celui à l'origine de ce même circuit par application de la formule approchée :

$$I = I_{cc} \frac{U_0}{U + Z_s \cdot I_{cc}}$$

avec

I_{cc} = courant de court-circuit en amont de la canalisation

I = courant de court circuit à l'extrémité de la canalisation

U_0 = tension nominale phase neutre du réseau

Z_s = impédance de la canalisation

Nota : à la différence de la méthode des impédances, cette méthode consiste à ajouter arithmétiquement⁽¹⁾ les impédances.

Méthode conventionnelle

Elle sera la plupart du temps suffisante et conduit à limiter la longueur des différents circuits électriques (voir chapitre G paragraphe 5.1 «Détermination pratique de la longueur L_{max} »).

Principe

Elle consiste à appliquer la loi d'Ohm au seul départ concerné par le défaut en faisant l'hypothèse que la tension entre la phase en défaut et le PE (ou PEN) reste supérieure à 80 % de la tension simple nominale.

Pour réaliser le calcul des installations électriques, les concepteurs n'utilisent actuellement pratiquement que des logiciels. Ceux-ci doivent être agréés par les autorités nationales compétentes. Ces logiciels, tels que Ecodial, utilisent des algorithmes de calcul conformes à la méthode des impédances. Les autorités nationales compétentes éditent aussi des guides pratiques qui proposent des valeurs typiques, par exemple pour la longueur des câbles.

(1) Ce calcul donne une valeur de l'intensité du courant de court-circuit par défaut. Si le réglage des dispositifs de protection contre les surintensités est fondé sur cette valeur calculée, le dispositif est sûr de déclencher (disjoncteur) ou de fondre (fusible).

La longueur maximale d'un circuit en schéma

$$TN \text{ est : } L_{\max} = \frac{0,8 U_0 S_{ph}}{\rho(1+m)I_a}$$

Ce coefficient prend en compte forfaitairement l'ensemble des impédances amont. En BT, lorsque le conducteur de protection chemine à côté des conducteurs de phase correspondants, il est possible de négliger les réactances des conducteurs devant leur résistance.

Cette approximation est considérée comme admissible jusqu'à des sections de 120 mm². Au-delà on majore la résistance de la manière suivante :

Section (mm ²)	Valeur de la résistance
S = 150 mm ²	R+15 %
S = 185 mm ²	R+20 %
S = 240 mm ²	R+25 %

La longueur maximale d'un circuit en schéma TN est donnée par la formule :

$$L_{\max} = \frac{0,8 U_0 S_{ph}}{\rho(1+m)I_a}$$

avec :

L_{max} = longueur maximale en mètres du circuit concerné

U₀ = tension simple = 230 V pour réseau 230/400 V

ρ = résistivité à la température de fonctionnement normal
(= 22,5 10⁻³ Ω x mm²/m pour le cuivre ; = 36 10⁻³ Ω x mm²/m pour l'aluminium)

I_a = courant (A) de fonctionnement du déclencheur magnétique du disjoncteur, ou I_a = courant (A) assurant la fusion du fusible dans le temps spécifié.

$$m = \frac{S_{ph}}{S_{PE}}$$

S_{ph} = section des phases en mm².

S_{PE} = section du conducteur de protection en mm².

(cf. Fig. F39)

Tableaux des longueurs L_{max}

Les tableaux suivants (selon norme CEI 60364-4-41 et guide UTE C15-105 (France)) applicables en cas de défaut en schéma TN, sont établis selon la méthode conventionnelle décrite ci-dessus.

Ces tableaux indiquent les longueurs maximales des circuits au delà desquelles la résistance ohmique des conducteurs limitera l'intensité du courant de court-circuit à une valeur trop faible, inférieure à celle requise pour provoquer le déclenchement du disjoncteur (ou la fusion du fusible) de protection du circuit dans un temps de coupure (ou de fusion) compatible avec la protection des personnes contre les contacts indirects.

Facteur de correction en fonction de m

Le tableau F40 indique le facteur de correction à appliquer aux valeurs données dans les tableaux F41 et F44 compte tenu du rapport S_{ph}/S_{pe}, du type de circuit et du type de conducteur.

Circuit	Nature du conducteur	m = S _{phase} /S _{PE} (ou PEN)			
		m = 1	m = 2	m = 3	m = 4
3P + N ou P + N	Cuivre	1	0,67	0,50	0,40
	Aluminium	0,62	0,42	0,31	0,25

Fig. F40 : Facteur de correction à appliquer aux longueurs données dans les Figures F41 et F44 en schéma TN

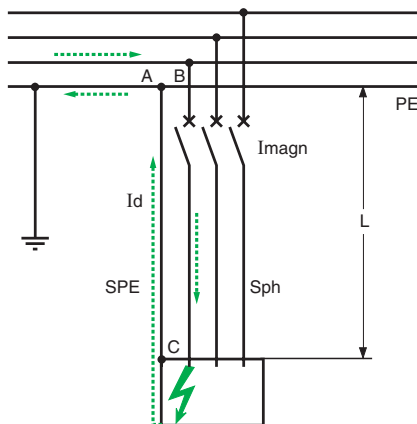


Fig. F39 : Calcul de L_{max} en schéma TN par la méthode conventionnelle

(1) Pour la définition des disjoncteurs de type B et C, se référer au Chapitre H Paragraphe 4.2

6 Mise en œuvre du schéma TN

Canalisations protégées par des disjoncteurs à usage général (Fig. F41)

Section nominale des conducteurs	Courant de réglage du fonctionnement instantané de disjoncteur I_m (A)																														
	50	63	80	100	125	160	200	250	320	400	500	560	630	700	800	875	1000	1120	1250	1600	2000	2500	3200	4000	5000	6300	8000	10000	12500		
1,5	100	79	63	50	40	31	25	20	16	13	10	9	8	7	6	6	5	4	4												
2,5	167	133	104	83	67	52	42	33	26	21	17	15	13	12	10	10	8	7	7	5	4										
4	267	212	167	133	107	83	67	53	42	33	27	24	21	19	17	15	13	12	11	8	7	5	4								
6	400	317	250	200	160	125	100	80	63	50	40	36	32	29	25	23	20	18	16	13	10	8	6	5	4						
10			417	333	267	208	167	133	104	83	67	60	53	48	42	38	33	30	27	21	17	13	10	8	7	5	4				
16				427	333	267	213	167	133	107	95	85	76	67	61	53	48	43	33	27	21	17	13	11	8	7	5	4			
25					417	333	260	208	167	149	132	119	104	95	83	74	67	52	42	33	26	21	17	13	10	8	7				
35						467	365	292	233	208	185	167	146	133	117	104	93	73	58	47	36	29	23	19	15	12	9				
50							495	396	317	283	251	226	198	181	158	141	127	99	79	63	49	40	32	25	20	16	13				
70								417	370	333	292	267	233	208	187	146	117	93	73	58	47	37	29	23	19						
95									452	396	362	317	283	263	198	158	127	99	79	63	50	40	32	25							
120										457	400	357	320	250	200	160	125	100	80	63	50	40	32								
150											435	388	348	272	217	174	136	109	87	69	54	43	35								
185												459	411	321	257	206	161	128	103	82	64	51	41								
240																400	320	256	200	160	128	102	80	64	51						

F27

Fig. F41 : Longueur maximale (en mètre) de canalisations triphasées 230/400 V ou monophasées protégées contre les contacts indirects (schémas TN) par des disjoncteurs industriels

Canalisations protégées par des disjoncteurs Compact ou Multi 9 à usage industriel ou domestique (Fig. F42 à Fig. F44)

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

Fig. F42 : Longueurs maximales (en mètres) de canalisations triphasées 230/400 V ou monophasées en schéma TN ($m = 1$) protégées contre les contacts indirects par des disjoncteurs domestiques de type B

Sph	Courant assigné des disjoncteurs type C (A)																
	1	2	3	4	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	
1,5	600	300	200	150	100	60	37	30	24	18	15	12	9	7	6	5	
2,5		500	333	250	167	100	62	50	40	31	25	20	16	12	10	8	
4			533	400	267	160	100	80	64	50	40	32	25	20	16	13	
6				600	400	240	150	120	96	75	60	48	38	30	24	19	
10					667	400	250	200	160	125	100	80	63	50	40	32	
16						640	400	320	256	200	160	128	101	80	64	51	
25							625	500	400	312	250	200	159	125	100	80	
35								875	700	560	437	350	280	222	175	140	112
50										760	594	475	380	301	237	190	152

Fig. F43 : Longueurs maximales (en mètres) de canalisations triphasées 230/400 V ou monophasées en schéma TN ($m = 1$) protégées contre les contacts indirects par des disjoncteurs domestiques de type C

(1) Pour la définition des disjoncteurs de type B et C, se référer au Chapitre H Paragraphe 4.2

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

Fig. F44 : Longueurs maximales (en mètres) de canalisations triphasées 230/400 V ou monophasées en schéma TN (m = 1) protégées contre les contacts indirects par des disjoncteurs domestiques de type D

F28

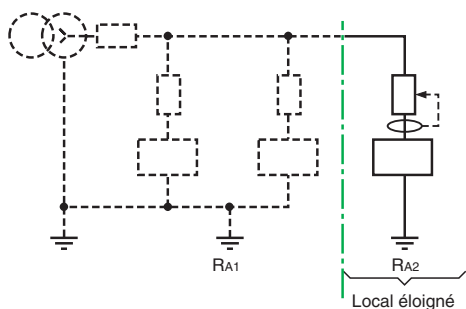


Fig. F45 : Prise de terre séparée

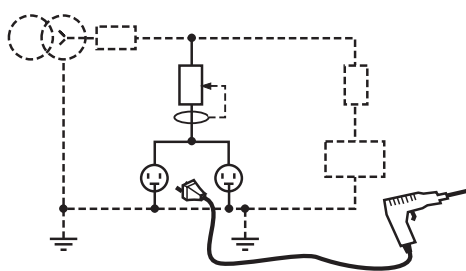


Fig. F46 : Circuit de prises de courant

Exemple

Soit une installation triphasée (230/400 V) en schéma TN-C. Un circuit protégé par un disjoncteur de type B de 63 A est constitué de câbles en aluminium de 50 mm² de section par phase et d'un conducteur neutre (PEN) de 25 mm².

Quelle est la longueur maximale du circuit, en dessous de laquelle la protection des personnes contre les contacts indirects est assurée par la protection magnétique instantanée du disjoncteur ?

Pour un disjoncteur de type B, le tableau de la Figure F42 est à utiliser. Il indique que, pour une section 50 mm² et un courant de 63A, la longueur maximale autorisée est 603 mètres.

Il est nécessaire de tenir compte de $m = \frac{S_{ph}}{S_{PE}} = 2$: le tableau de la Figure F40 indique un coefficient de 0,42 pour des conducteurs aluminium. La longueur maximal du circuit est de ce fait : 603 m x 0,42 = 253 mètres

Cas particulier où une masse ou un groupe de masses est relié à une prise de terre séparée

Protection contre les contacts indirects par DDR en tête de chaque groupe de masses relié à une prise de terre distincte. La sensibilité doit être adaptée à la résistance de la prise de terre.

En aval du DDR, le schéma de liaison à la terre ne peut être le TN-C (à remplacer par le TN-S) (RA2 en Figure F45).

6.3 Dispositif différentiel haute sensibilité (DDR- HS) (cf. Fig. F46)

La norme CEI 60364-4-41 § 415.1.1 reconnaît comme une mesure efficace la protection complémentaire des personnes contre les contacts directs par des DDR haute sensibilité (DDR-HS $I_{\Delta n} \leq 30$ mA).

La norme CEI 60364-4-41 § 411.3.3 impose cette protection complémentaire (quel que soit le schéma des liaisons à la terre) sur les circuits alimentant :

- des socles de prise de courant de courant assigné ≤ 20 A pour tous les types d'emplacements,
- les appareils portatifs de courant assigné ≤ 32 A destinés à être utilisés à l'extérieur

Note : dans certains pays comme la France (norme NF C 15-100 § 411.3.3), 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).

D'autres situations où des DDR-HS sont imposés ou recommandés (en particulier sur les circuits alimentant des socles de prise de courant), sont décrites dans la série 7 de la norme CEI 60364 : par exemple 704 (installation de chantier), 705 (établissement agricole), 708 (parcs de caravanes), 709 (marinas) etc. Voir le chapitre P paragraphe 3.

(1) Pour la définition des disjoncteurs de type D, se référer au chapitre H.

6 Mise en œuvre du schéma TN

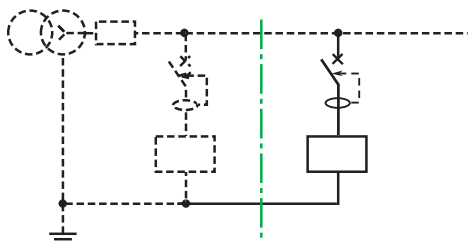


Fig. F47 : Local à risque d'incendie

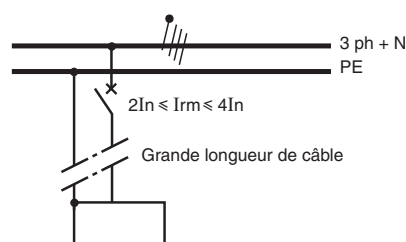


Fig. F48 : Appareil à réglage magnétique bas

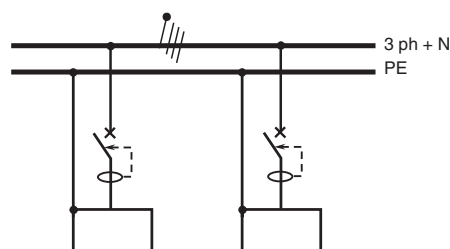


Fig. F49 : Protection différentielle à courant résiduel

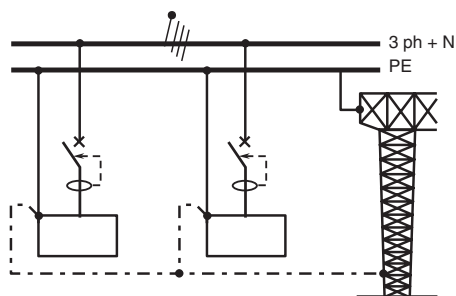


Fig. F50 : Liaisons équipotentielles supplémentaires

6.4 Prévention dans les locaux à risques d'incendie et d'explosion

La norme CEI 60364-4-42 § 422.3.13 interdit le schéma TN-C dans les locaux à risques d'incendie et d'explosion. La gestion de ces risques est traitée au paragraphe 4.

Rappel : (cf. Fig. F47)

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.

La norme d'installation NF C 15-100 § 42 impose l'installation d'un DDR moyenne sensibilité (DDR-MS $I_{\Delta n} \leq 300$ mA) sur les circuits présentant un risque d'incendie.

La norme NF C 15100 § 422.1.9 et 424.11 interdit le schéma TN-C dans les locaux à risques d'incendie et d'explosion.

Ces textes sont harmonisés avec les textes européens (CENELEC).

6.5 Cas où l'impédance de boucle est particulièrement élevée

Lorsque les conditions pour assurer le déclenchement des dispositifs de protection contre les surintensités ne peuvent pas être satisfaites à la conception ou ne peuvent pas être vérifiées à la réalisation, les possibilités ci-après peuvent être envisagées.

Suggestion 1 (cf. Fig. F48)

■ Installer un appareil à seuil de déclenchement magnétique bas :

$2I_n \leq I_{rm} \leq 4I_n$

Cette solution permet d'assurer la protection des personnes pour un circuit plus long. Mais, il faut s'assurer que l'appareil ne sera pas sollicité par des courants élevés au démarrage.

- Solutions Schneider Electric
- Compact type G ($2I_m \leq I_{rm} \leq 4I_m$)
- Disjoncteur Multi 9 courbe B

Pour les installations en schéma TN-C, il est impossible d'installer une protection différentielle à courant résiduel (DDR).

Suggestion 2 (cf. Fig. F49)

■ Installer une protection différentielle à courant résiduel sur un circuit terminal. La valeur élevée des courants de défaut autorise l'utilisation de basses sensibilités (quelques ampères à quelques dizaines d'ampères).

Cette solution permet de s'affranchir de toute vérification. En présence de prises de courant, l'ensemble du coffret et les prises elles-mêmes doivent être protégées par un DDR-HS-30 mA

- Solutions Schneider Electric
- Différentiel Multi 9 NG125 : $I_{\Delta n} = 1$ ou 3 A
- Vigicomact REH or REM : $I_{\Delta n} = 3$ à 30 A

Suggestion 3

Augmenter la section des conducteurs de protection (PE ou PEN) ou de phase ou les 2 simultanément jusqu'à ce que les impératifs de protection des personnes soient atteints.

Suggestion 4 (cf. Fig. F50)

Ajouter des liaisons équipotentielles supplémentaires. Cela aura un effet similaire à la suggestion 3 soit une réduction de la résistance de la boucle de défaut mais de plus permettra une amélioration des mesures de protection (par diminution de la tension de contact). L'efficacité de cette mesure doit être vérifiée par une mesure de résistance entre les masses simultanément accessibles et le conducteur de protection local, dont la valeur à ne pas dépasser est indiquée dans le guide UTE C 15-105.

Note : pour les installations en schéma TN-C, seules les suggestions 1 et 3 sont possibles.

F29

F30

La caractéristique de base d'un schéma IT est que même après l'apparition d'un défaut d'isolement (à la terre) l'installation électrique peut continuer de fonctionner normalement sans interruption. Ce défaut est dénommé «premier défaut».

Dans un 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).

Cela signifie que dans un schéma IT, un défaut à la terre

- ne crée qu'un courant de défaut de quelques milliampères,

■ ne causera de ce fait :

- aucune dégradation à l'installation en particulier à l'emplacement du défaut,
- aucun risque d'incendie,
- aucune tension de contact (en fait de quelques volts \ll 50 V).

Une installation en schéma IT en situation de premier défaut peut donc continuer de fonctionner normalement mais il est impératif de savoir qu'un premier défaut a eu lieu, de trouver l'emplacement de ce défaut et de l'éliminer.

Un autre intérêt du schéma IT est que la réparation de l'installation peut être planifiée à une période où le besoin de fonctionnement de l'installation électrique n'est pas critique.

En pratique, l'exploitation satisfaisante d'une installation électrique en schéma IT nécessite certaines mesures spécifiques :

- un contrôle permanent de l'isolement de l'installation par rapport à la terre et la signalisation de toute défaillance d'isolement,

■ Le contrôle permanent de l'isolement par CPI qui doit signaler le «premier défaut» (signal sonore ou visuel), ainsi que la limitation des surtensions à fréquence industrielle, sont obligatoires selon le § 413-1-5-4 de la NF C 15-100.

- un dispositif de limitation de tension qui pourrait apparaître entre la terre et l'installation (généralement placé entre le point neutre de la source et la terre),
- une équipe de maintenance efficace pour effectuer avec succès la recherche du premier défaut. Cette recherche est facilitée par l'utilisation de plus en plus courante de matériels de localisation automatique,

L'apparition d'un second défaut avant que le premier défaut ne soit éliminé, entraîne obligatoirement la coupure automatique de l'alimentation. Le second défaut (par définition) est un défaut qui apparaît sur un conducteur actif, phase ou neutre, différent de celui où est apparu le premier défaut. Le second défaut entraînera

- une tension de contact dangereuse,
- un courant de défaut important, équivalent à un courant de court-circuit, ou relativement faible suivant la manière dont les masses sont mises à la terre.

7.1 Conditions préalables (cf. Fig. F51 et Fig. F52)

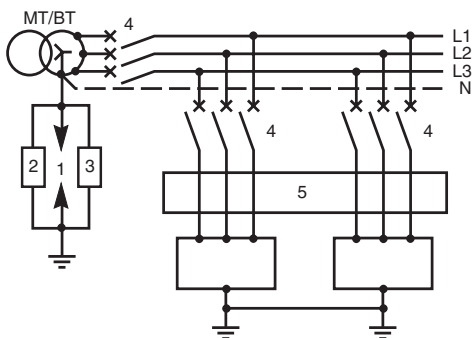


Fig. F52 : Emplacements des fonctions essentielles à la surveillance de l'isolement sur un réseau triphasé en schéma IT

Ce tableau indique les dispositions à prendre pour qu'une installation IT (à neutre isolé ou impédant) soit conforme à la norme NF C15-100 et au décret de protection des travailleurs lorsque toutes les masses sont interconnectées et mises à la terre.

Fonctions minimales à assurer	Appareillage	Exemples
Protection contre les surtensions à fréquence industrielle	(1) Limiteur de surtension	Cardew C
Impédance de limitation (pour neutre impédant seulement)	(2) Impédance	Impédance Zx
Contrôle global de l'isolement et signalisation du défaut simple	(3) Contrôleur permanent d'isolement	Vigilohm TR22A ou XM 200
Coupure automatique au 2 ^e défaut protection du neutre contre les surintensités	(4) Protection omnipolaire	Disjoncteur Compact ou DDR-MS
Localisation du défaut simple	(5) Avec dispositif de recherche sous tension (ou par ouverture successive des départs)	Vigilohm system

Fig. F51 : Fonctions essentielles en schéma IT et exemples de produits Schneider Electric

7 Mise en œuvre du schéma IT

L'automatisation et la télésurveillance facilitent la maîtrise du niveau d'isolement d'une installation en schéma IT.

7.2 Protection contre les contacts indirects

Cas du premier défaut

L'intensité du courant qui circule dans la boucle de défaut en situation de premier défaut est de l'ordre de quelques milliampères.

La tension de contact (analogue à tension de défaut) est la chute de tension créée ■ dans la mise à la terre (soit le produit du courant de défaut par la résistance de terre),

■ et dans le PE entre la mise à la terre jusqu'à l'emplacement du défaut (soit le produit du courant de défaut par la résistance du PE).

La valeur de cette tension est clairement sans danger et pourrait atteindre quelques volts seulement dans le pire des cas : (par exemple, sur une installation en schéma IT de très grande dimension (capacité de fuite équivalent à 1000 Ω), le courant de premier défaut sera de 230 mA⁽¹⁾ et si la résistance de terre est très mauvaise 50 Ω , la tension de contact ne sera que de 11,5 V ; voir le paragraphe 3.4 «Le premier défaut»).

Une alarme sonore et visuelle est délivrée par le Contrôleur Permanent d'Isolement.

Principe physique

Un générateur applique une tension de faible niveau BF ou continue entre le réseau à surveiller et la terre. Ce signal se traduit par un courant de fuite que l'on peut mesurer et qui reflète l'état de l'isolement du réseau.

Les systèmes à basse fréquence sont utilisables sur les installations à courants continus et certaines versions peuvent faire la distinction entre la part résistive et la part capacitive du courant à la terre.

Les réalisations modernes permettent de mesurer l'évolution du courant de fuite : la prévention du premier défaut devient ainsi possible. Les mesures sont transmises par bus en vue de leur exploitation automatique.

Exemples de matériel

■ Recherche mobile manuelle (cf. Fig. F53)

Le générateur peut être fixe (exemple : XM200) ou mobile (exemple : GR10X portable permettant le contrôle hors tension) et le récepteur ainsi que la pince ampèremétrique sont mobiles.

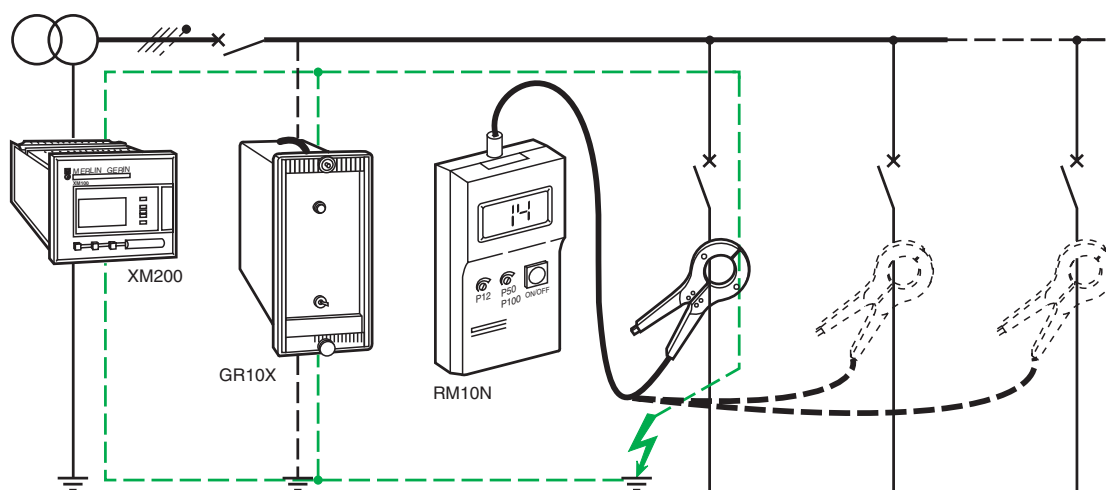


Fig. F53 : Recherche mobile manuelle

■ Recherche fixe automatique (cf. Fig. F54 page suivante)

Le contrôleur permanent d'isolement XM200 et les détecteurs XD1 ou XD12 associés à des tores installés sur chaque départ permettent de disposer d'un système de recherche automatique sous tension.

De plus, l'appareil affiche le niveau d'isolement et possède deux seuils : un seuil de prévention et un seuil d'alarme.

(1) Réseau triphasé 400/230 V en schéma IT.

F - Protection contre les chocs électriques

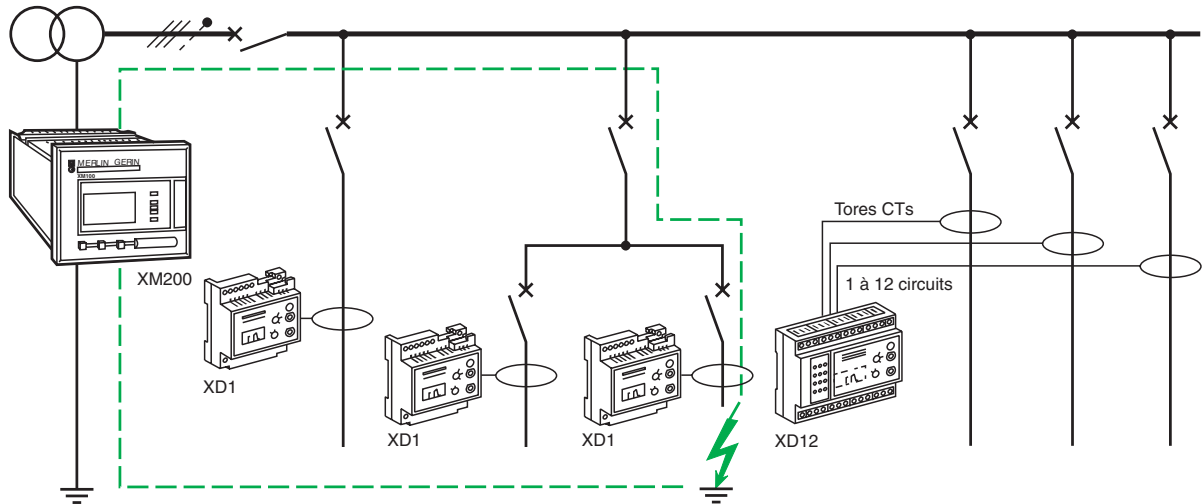


Fig. F54 : Recherche fixe automatique

■ Recherche et exploitation automatique (cf. Fig. F55)

Le VigiloHm System permet également de communiquer avec une imprimante et/ou un PC qui permet de disposer de la vue d'ensemble du réseau, de son niveau d'isolement et de l'historique (chronologie) de l'évolution de l'isolement pour chaque départ.

Le contrôleur permanent d'isolement XM200 et les détecteurs XD08 ou XD16, associés à des tores installés sur chaque départ, comme illustré sur la Figure F55 ci-dessous, permettent cette recherche et exploitation automatique.

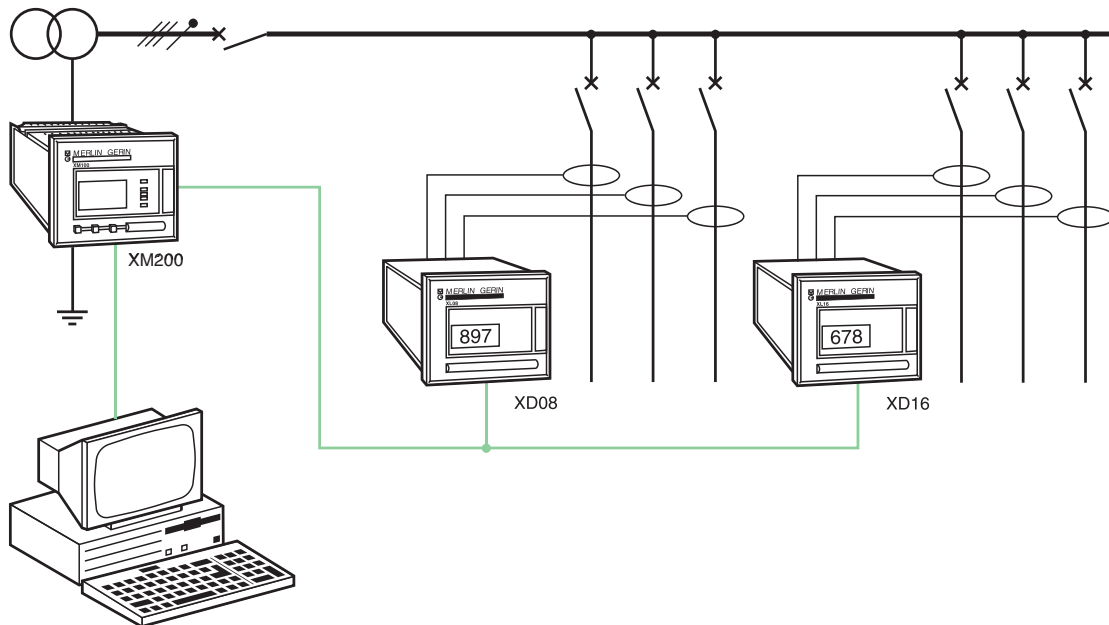


Fig. F55 : Recherche et exploitation automatique

7 Mise en œuvre du schéma IT

La norme NF C 15-100, partie 537-1-3, préconise :

- un seuil d'alarme réglé à 500 Ω ,
- un seuil de prévention du niveau d'isolement ajusté à chaque installation.

Mise en œuvre des Contrôleurs Permanents d'Isolément CPI

■ Branchement

Le CPI est normalement connecté entre le point neutre (ou le neutre artificiel) du transformateur d'alimentation et la mise à la terre.

■ Alimentation

L'alimentation du CPI devrait être réalisée à partir d'une source parfaitement fiable. En pratique, c'est généralement directement à partir de l'installation à contrôler et en aval d'une protection contre les surintensités d'un calibre adéquat.

■ Réglages

Certaines normes nationales recommandent un premier réglage à 20% au dessous du niveau de l'installation neuve. Cette valeur permet de détecter une diminution de la qualité de l'isolement nécessitant des mesures de maintenance préventive pour pallier une situation de défaillance naissante.

Le deuxième seuil de réglage du CPI (seuil de détection du défaut d'isolement) doit être réglé à un niveau beaucoup plus bas.

A titre d'exemple, les 2 seuils de réglages peuvent être :

- niveau d'isolement de l'installation neuve 100 k Ω ,
- Courant de fuite tolérée (non dangereux) : 500 mA (risque incendie si > 500 mA),
- Réglages des 2 seuils du CPI par l'utilisateur :
 - Seuil de prévention (pour maintenance préventive) : 80% x 100 k Ω = 80 k Ω ,
 - Seuil de détection (alarme pour recherche de défaut) : 500 Ω .

Notes :

- Après une longue période de coupure, pendant laquelle toute ou une partie de l'installation est restée hors tension, de l'humidité peut réduire la valeur de la résistance répartie d'isolement. Cette situation qui est principalement due à des courants de fuite à la surface humide d'isolants sains ne constitue pas une situation de défaut et s'améliorera rapidement à la remise sous tension dès que l'élévation de température normale des conducteurs sous l'effet des courants parcourus réduira ou éliminera cette humidité de surface.
- Les contrôleurs d'isolement (CPI) de type XM peuvent mesurer séparément les composantes résistives et capacitives du courant de fuite à la terre, fournissant de ce fait la valeur vraie de la résistance d'isolement.

Cas du 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 (voir le paragraphe 3.4), un second défaut (à moins qu'il n'apparaisse sur la même phase que le premier défaut) créée un court-circuit phase phase ou phase neutre. De plus, qu'il apparaisse sur le même circuit ou sur un circuit différent du premier défaut, les dispositifs de protection contre les surintensités, disjoncteur ou appareillage à fusible, assurent la coupure automatique de l'alimentation.

Les réglages des magnétiques (ou des protections Court retard et Instantané) des disjoncteurs et les calibres des fusibles sont les paramètres de base qui déterminent la longueur maximale des conducteurs pour laquelle la protection des personnes est assurée comme indiqué dans le chapitre 6.2.

Note : dans ce cas où les masses sont interconnectées par un conducteur de protection PE, aucune résistance de terre ne se situe sur le chemin du courant dans la boucle de défaut. De ce fait, l'intensité du courant de deuxième défaut n'est limitée que par l'impédance des conducteurs et est obligatoirement suffisamment élevée pour déclencher les protections de surintensités.

Si les longueurs des circuits sont extrêmement importantes, et en particulier si les circuits sont mis à des terres différentes (de ce fait, les 2 résistances de terre sont dans la boucle défaut) la coupure automatique par les protections contre les surintensités n'est plus possible.

Dans ces cas, il est recommandé d'assurer la protection des personnes contre les contacts indirects par un DDR sur chaque circuit. Les réglages des DDR sont similaires 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 protégés par un DDR (voir le tableau de la Figure F19).

Méthodes de détermination de l'intensité de court-circuit

Les mêmes principes que ceux utilisés pour le schéma TN (voir paragraphe 6.2) sont applicables. Les méthodes sont de ce fait :

- la méthode des impédances,
- la méthode de composition,
- la méthode conventionnelle.

La méthode conventionnelle sera la plupart du temps suffisante et conduit à limiter la longueur des différents circuits électriques.

Le guide UTE C15-105 propose trois méthodes :

- méthode des impédances,
- méthode de composition,
- méthode conventionnelle.

F33

Pour les calculs, il est pratique d'utiliser un logiciel approuvé par les autorités nationales, et basé sur la méthode des impédances, tel que Ecodial 3. De nombreux pays publient aussi des guides qui donnent des valeurs typiques de longueurs de conducteurs.

Méthode conventionnelle (cf. Fig. F56)

Le principe est le même pour un schéma IT que celui décrit au paragraphe 6.2 pour un schéma TN : le calcul des longueurs des circuits à ne pas dépasser pour que la protection des personnes contre les contacts indirects soit assurée par les dispositifs de protection utilisés contre les surintensités (disjoncteur ou fusible).

Mais devant l'impossibilité pratique d'effectuer la vérification pour chacune des configurations de double défaut, le calcul pour chaque circuit est conduit dans le cas le plus défavorable: un autre défaut sur circuit identique

■ Lorsque le neutre n'est pas distribué, le défaut ne peut être qu'un défaut entre phases et la tension à appliquer à la boucle de défaut est $\sqrt{3} U_0$.

C'est le cas recommandé par la norme NF C 15-100.

La longueur maximale du circuit est donnée par la formule suivante :

$$L_{max} = \frac{0,8 U_0 \sqrt{3} S_{ph}}{2 \rho I_a (1+m)} \text{ mètres}$$

■ Lorsque le neutre est distribué, la tension à retenir est la tension phase neutre U_0 (car c'est le cas le plus défavorable).

$$L_{max} = \frac{0,8 U_0 S_1}{2 \rho I_a (1+m)} \text{ mètres}$$

La longueur du circuit est 2 fois plus faible qu'en schéma TN⁽¹⁾.

F34

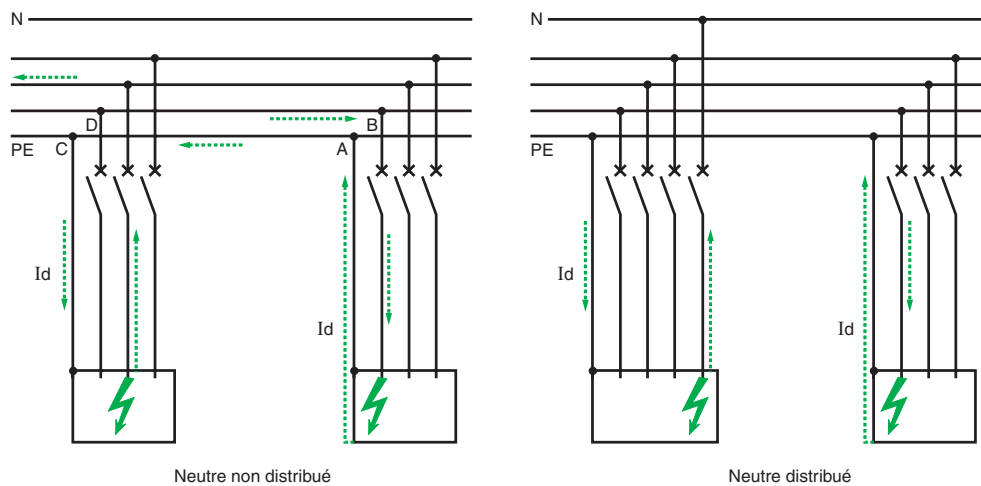


Fig. F56 : Calcul de Lmax en schéma IT, trajet du courant en cas de défaut double en IT

Dans les formules précédentes :

Lmax = longueur maximale en mètres,

U0 = tension simple (230 V pour un réseau 230/400 V),

ρ = résistivité à la température de fonctionnement normale (22,5 x 10⁻³ Ω x mm²/m pour le cuivre, 36 x 10⁻³ Ω x mm²/m pour l'aluminium),

Ia = courant (A) de fonctionnement (disjoncteur) ou courant (A) de fusion (fusible) dans un temps spécifié,

$$m = \frac{S_{ph}}{S_{PE}}$$

SPE = section du conducteur de protection en mm²,

S1 = S neutre si le circuit comporte un conducteur neutre,

S1 = Sph si le circuit ne comporte pas de neutre.

(1) Rappel : il n'y a pas de longueur limite pour la protection des personnes en schéma TT, dès qu'une protection par DDR-HS est installée.

7 Mise en œuvre du schéma IT

Le guide UTE C15-105 comporte des tableaux qui indiquent directement la longueur du circuit à ne pas dépasser pour que la protection des personnes contre les contacts indirects soit assurée en fonction des appareils de protection utilisés contre les surintensités.

Tableaux des longueurs L_{max}

Les tableaux du guide UTE C15-105 sont établis selon la méthode conventionnelle.

Les tableaux donnant les longueurs L_{max} des circuits à ne pas dépasser pour que la protection des personnes contre les contacts indirects soit assurée par les dispositifs de protection utilisés contre les surintensités (disjoncteur ou fusible) sont identiques à ceux donnés pour le schéma TN (cf. tableaux des Figures F41 à F44).

Ces tableaux prennent en compte :

- le type de protection : disjoncteurs ou fusibles,
 - le calibre de la protection,
 - les sections des phases et du conducteur de protection.
- Le tableau de la **Figure F57** indique le facteur de correction à apporter aux longueurs indiquées dans les tableaux F41 à F44 dans le cas du schéma IT.

Circuit	Nature du conducteur	m = Sphase/SPE (ou PEN)			
		m = 1	m = 2	m = 3	m = 4
3 phases	Cuivre	0,86	0,57	0,43	0,34
	Aluminium	0,54	0,36	0,27	0,21
3P + N ou 1P + N	Cuivre	0,50	0,33	0,25	0,20
	Aluminium	0,31	0,21	0,16	0,12

Fig. F57 : Facteur de correction à appliquer aux longueurs données dans les tableaux F41 à F44 en schéma IT

Exemple

Soit une installation triphasée (230/400 V) en schéma IT.

Un circuit protégé par un disjoncteur de type B de 63 A est constitué de câbles en aluminium de 50 mm² de section par phase et de 25 mm² de section pour le conducteur de protection (PE).

Quelle est la longueur maximale du circuit, en dessous de laquelle la protection des personnes contre les contacts indirects est assurée par la protection magnétique instantanée du disjoncteur ?

Le tableau de la Figure F42 indique une longueur maximale autorisée de 603 mètres à laquelle il faut appliquer un coefficient de 0,36 (m = 2 et conducteur en aluminium dans le tableau de la Figure F57). La longueur maximale du circuit est de ce fait 217 mètres.

7.3 Dispositif différentiel haute sensibilité (DDR-HS)

La norme CEI 60364-4-41 § 415.1.1 reconnaît comme une mesure efficace la protection complémentaire des personnes contre les contacts directs par des DDR haute sensibilité (DDR-HS $I_{\Delta n} \leq 30$ mA).

La norme CEI 60364-4-41 § 411.3.3 impose cette protection complémentaire (quel que soit le schéma des liaisons à la terre) sur les circuits alimentant :

- des socles de prise de courant assigné ≤ 20 A pour tous les types d'emplacements,
- les appareils portatifs de courant assigné ≤ 32 A destinés à être utilisés à l'extérieur.

Note : dans certains pays comme la France (norme NF C 15-100 § 411.3.3), pour des circuits alimentant des socles de prise 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 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).

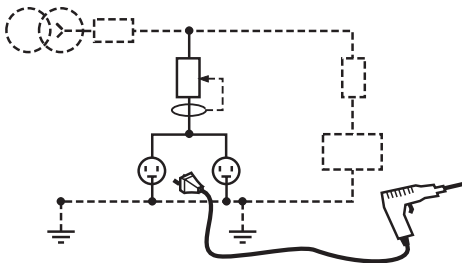


Fig. F62 : Circuit alimentant des socles de prise de courant

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

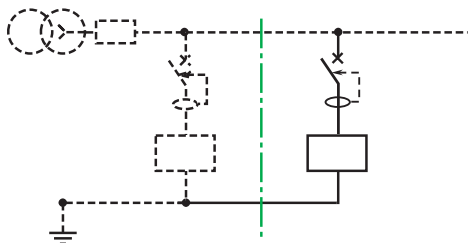


Fig. F59 : Protection par DDR spécifique d'un local à risque d'incendie

La gestion de ces risques est traitée au paragraphe 4.

Rappel :

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.

La norme d'installation NF C 15-100 § 42 impose l'installation d'un DDR moyenne sensibilité (DDR-MS $I_{\Delta n} \leq 300$ mA) sur les circuits présentant un risque d'incendie. Cette valeur est retenue par les textes européens (CENELEC).

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 protégés par un DDR (voir le tableau de la Figure F19).

F36

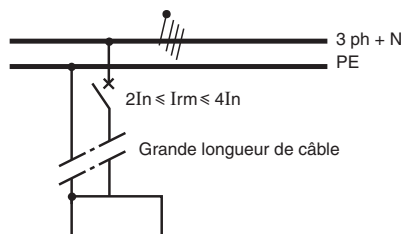


Fig. F60 : Protection par disjoncteur à seuil de déclenchement magnétique bas

7.5 Cas où l'impédance de boucle est particulièrement élevée

Lorsque les conditions pour assurer le déclenchement des dispositifs de protection contre les surintensités ne peuvent pas être satisfaites à la conception ou ne peuvent pas être vérifiées à la réalisation, les possibilités ci-après peuvent être envisagées.

Suggestion 1 (cf. Fig. F60)

Installer un appareil à seuil de déclenchement magnétique bas.

Cette solution permet d'assurer la protection des personnes pour un circuit plus long. Mais il faut s'assurer que l'appareil ne sera pas sollicité par des courants élevés au démarrage.

- Solutions Schneider Electric
- Compact type G ($2 I_n \leq I_{rm} \leq 4 I_n$).
- Disjoncteur Multi 9 courbe B.

Suggestion 2 (cf. Fig. F61)

Installer une protection différentielle à courant résiduel sur un circuit terminal. La valeur élevée des courants de défaut autorise l'utilisation de basses sensibilités (quelques ampères à quelques dizaines d'ampères).

Cette solution permet de s'affranchir de toute vérification. En présence de prises de courant, l'ensemble du coffret et les prises elles-mêmes doivent être protégées par un DDR-HS-30 mA.

- Solutions Schneider Electric
- Différentiel Multi 9 NG125 : $I_{\Delta n} = 1$ ou 3 A.
- Vigicomact REH ou REM : $I_{\Delta n} = 3$ à 30 A.
- Vigirex RH 99 associé à un dispositif de coupure.

Suggestion 3

Augmenter la section des conducteurs de protection ou de phase ou les 2 simultanément jusqu'à ce que les impératifs de protection des personnes soient atteints.

Suggestion 4 (cf. Fig. F62)

Ajouter des liaisons équipotentielle supplémentaires. Cela aura un effet similaire à la suggestion 3 soit une réduction de la résistance de la boucle de défaut mais de plus permettra une amélioration des mesures de protection (par diminution de la tension de contact). L'efficacité de cette mesure doit être vérifiée par une mesure de résistance entre les masses simultanément accessibles et le conducteur de protection local, dont la valeur à ne pas dépasser est indiquée dans le guide UTE C 15-105.

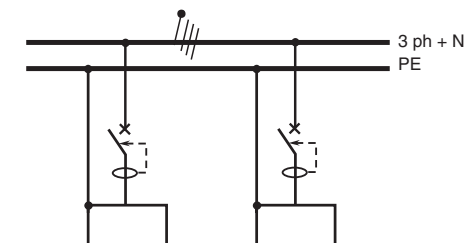


Fig. F61 : Protection par DDR

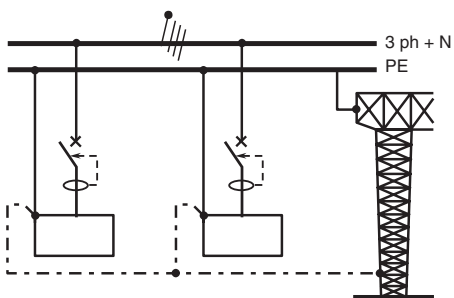


Fig. F62 : Liaisons équipotentielles supplémentaires

8 Dispositifs Différentiels à courant Résiduel (DDR)

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

Les disjoncteurs de type industriel intégrant la fonction différentielle sont conformes à la norme CEI 60947-2 et à son annexe B.

8.1 Type de DDR

Les dispositifs différentiels à courant résiduel (DDR) sont couramment intégrés ou associés avec les appareils suivants :

- disjoncteurs de type industriel boîtier moulé et forte intensité conformes à la CEI 60947-2,

Note : les disjoncteurs de type industriel intégrant la fonction DDR (par exemple le disjoncteur Vigicompact) sont conformes aussi à l'annexe B de cette norme,

- disjoncteurs miniatures de type industriel conformes à la CEI 60947-2.

Un DDR est obligatoirement utilisé à l'origine d'une installation en schéma TT.

Mais afin d'assurer un niveau de continuité de service adéquat, il est aussi nécessaire d'utiliser d'autres DDR en aval sur l'installation et de mettre en œuvre leur capacité à être sélectifs entre eux.

Disjoncteurs de type industriel avec un module DDR intégré ou adaptable (cf. Fig. F63)



Disjoncteur de type industriel Vigicompact



Disjoncteur de type industriel Multi 9 sur rail DIN avec un module DDR Vigi adaptable

Fig. F63 : Disjoncteurs de type industriel avec module DDR

Les disjoncteurs différentiels de type industriel sont disponibles sous plusieurs versions (sur socle, débrochable, sur rail DIN). La protection différentielle est réalisée par des modules complémentaires adaptables sur rail DIN (par exemple Multi 9) ou montés aux bornes des disjoncteurs (par exemple bloc Vigi pour disjoncteur Compact NSX). Ces disjoncteurs différentiels peuvent donc ainsi assurer une protection complète : protection contre les surintensités, protection contre les contacts indirects et/ou directs et sectionnement.

Les disjoncteurs différentiels de type domestique sont l'objet des normes CEI 60898, CEI 61008 et CEI 61009

Disjoncteurs modulaires de type domestique avec protection différentielle (cf. Fig. F64)



Disjoncteur d'arrivée avec ou sans déclenchement temporisé et fonction DDR intégrée (type S)



Disjoncteur différentiel «Monobloc» Déclat Vigi conçu pour la protection des circuits prises de courant pour les applications domestiques et tertiaires

Fig. F64 : Disjoncteurs différentiels de type domestique pour la protection contre les défauts à la terre

F37

Les interrupteurs différentiels sont couverts par des normes nationales particulières. Les DDR à tore séparé sont normalisés à l'annexe M de la CEI 60947-2.

Disjoncteurs différentiels et DDR à tore séparé (cf. Fig. F65)

Les DDR à tore séparé peuvent être utilisés avec des disjoncteurs ou des contacteurs.



Fig. F65 : DDR à tore séparé (Vigirex)

F38

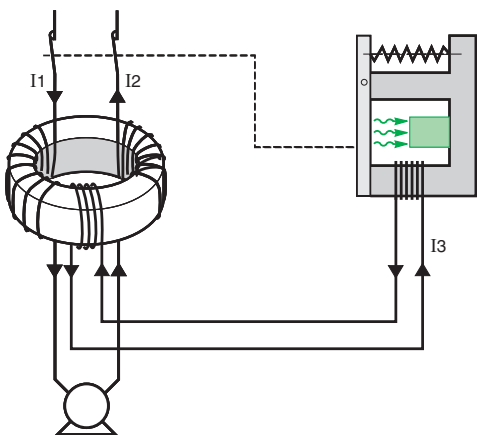


Fig. F66 : Le principe de fonctionnement d'un DDR

8.2 Description

Principe

Les caractéristiques essentielles du fonctionnement d'un DDR sont montrées en Fig. F66 ci-contre.

Un circuit magnétique entoure tous les conducteurs actifs, y compris le conducteur neutre si présent, alimentant un circuit électrique. Le flux magnétique généré dans le circuit magnétique dépend à chaque instant de la somme arithmétique des courants dans les conducteurs actifs.

En cas de circuit monophasé (Fig. F66), le courant entrant I_1 (de la source vers l'utilisation) est considéré comme positif, à l'inverse le courant I_2 sortant est considéré comme négatif.

Pour un circuit électrique sain, $I_1 + I_2 = 0$ et il n'y a pas de flux magnétique, donc aucune f.é.m. créée dans l'enroulement secondaire.

Un courant de défaut I_d passe dans le circuit magnétique de la source vers l'utilisation mais revient par les conducteurs de protection (schéma TN) ou par la terre (schéma TT).

De ce fait, la somme des courants entrant et sortant n'est plus nulle, soit $I_1 + I_d + I_2 = I_d$, et cette différence de courant crée un flux magnétique.

Cette différence de courant est appelée «courant résiduel» et le principe est dénommé principe du «courant résiduel».

Le flux alternatif résultant dans le circuit magnétique induit en conséquence une f.é.m. dans le bobinage du secondaire de sorte qu'un courant I_3 circule dans l'enroulement de commande de déclenchement du dispositif. Si le courant résiduel dépasse la valeur requise (le seuil) pour activer le déclenchement du dispositif soit directement soit via un relais électronique ceci va provoquer l'ouverture de l'organe de coupure associé (interrupteur ou disjoncteur).

8.3 Sensibilité des DDR aux perturbations

Dans certains cas, des perturbations (dues au réseau ou à son environnement) peuvent créer des dysfonctionnements des DDR.

■ **Déclenchement intempestif** : coupure de l'alimentation électrique en cas d'absence de situations dangereuses. Ce type de déclenchement est souvent répétitif, ce qui est très préjudiciable à la qualité de la fourniture de l'énergie, et entraîne pour l'utilisateur des perturbations d'exploitation.

■ **Non déclenchement en cas de situations dangereuses** : baisse de la sensibilité dans la détection des courants de défaut dangereux. Cette situation doit être analysée avec précautions car elle affecte la sécurité. De ce fait, les normes CEI ont défini 3 catégories de DDR selon leur aptitude à gérer ces types de situation (voir ci-après).

8 Dispositifs Différentiels à courant Résiduel (DDR)

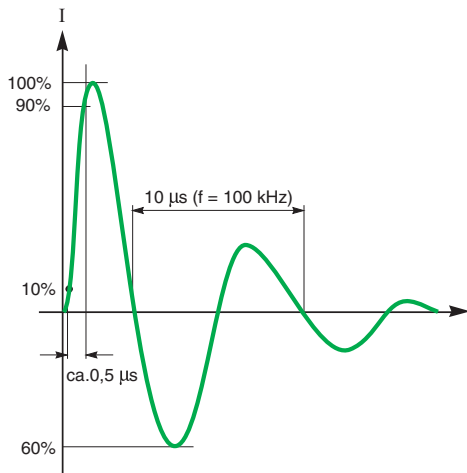


Fig. F67 : Onde de courant normalisée 0,5 µs/100 kHz

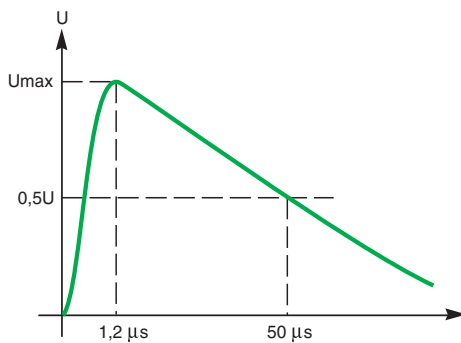


Fig. F68 : Onde de tension normalisée 1,2/50 µs

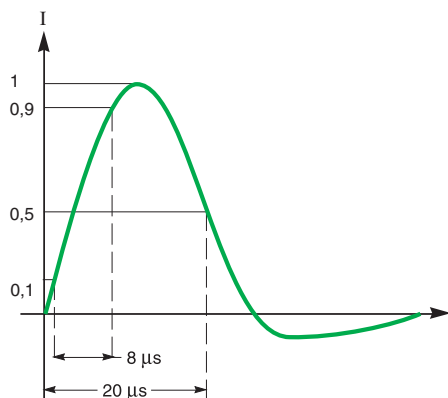


Fig. F69 : Onde de courant normalisée 8/20 µs

Principaux types de perturbations

Bien que ces perturbations ne soient pas dangereuses pour les personnes, elles peuvent entraîner des déclenchements intempestifs des dispositifs de protection DDR qu'il est nécessaire de pallier.

Courants de fuite permanents

Toute installation électrique BT a un courant de fuite permanent à la terre qui est dû :

- soit aux déséquilibres des capacités de fuite naturelles des conducteurs actifs à la terre (principalement pour des circuits triphasés),
- soit à des capacités entre une phase et la terre pour des circuits monophasés.

Le courant de fuite est d'autant plus important que l'installation électrique est étendue.

Ce courant de fuite capacitif est parfois majoré de manière significative par les condensateurs de filtrage reliés à la masse de certains récepteurs électroniques (dans des équipements pour des automatismes, pour des systèmes de communication, pour des réseaux informatiques, etc.). En l'absence de données plus précises, le courant de fuite peut être évalué sur la base suivante, pour un réseau 230 V/ 50 Hz :

- canalisations mono ou triphasées : 1,5 mA/100m,
- plancher chauffant : 1 mA/kW,
- Fax, imprimantes : 1 mA,
- PC, poste de travail : 2 mA,
- Photocopieuses : 1,5 mA.

Pour que les DDR puissent fonctionner correctement avec les sensibilités $I_{\Delta n}$ requises par les normes CEI et/ou les normes nationales pour assurer la sécurité des personnes et des biens, il est nécessaire de limiter les courants de fuite permanents traversant un DDR. Une limitation à 25% de son seuil $I_{\Delta n}$ par une division des circuits, élimine pratiquement tout risque de déclenchement intempestif.

Composantes à haute fréquence HF (harmoniques, transitoires, etc.) générés

- par des alimentations d'équipements informatiques, des convertisseurs de fréquence, des commandes de moteur par variateur de vitesse, des systèmes d'éclairage à lampes fluorescentes,
- par la proximité d'appareils de coupure MT et de batterie de condensateurs d'énergie réactive.

Une partie de ces courants HF peut s'écouler à la terre par les capacités de fuite des équipements.

Mise sous tension

La mise sous tension de condensateurs tels que mentionnés ci-dessus crée un courant d'appel transitoire HF similaire à celui de la **Figure F67**.

L'apparition du premier défaut en schéma IT crée un courant de fuite transitoire dû à la brusque élévation de tension des 2 phases saines par rapport à la terre.

Surtensions de mode commun

Les réseaux électriques sont soumis à des surtensions transitoires dues

- à des perturbations extérieures d'origine atmosphériques (foudre),
- à des changements brusques des conditions de fonctionnement du réseau (défauts, fusion de fusibles, commutation de charges inductives, manœuvres d'appareillage MT, etc.).

Ces surtensions transitoires créent dans les capacités de fuite à la terre des courants transitoires de forte amplitude.

Leur observation a établi que sur un réseau BT, les surtensions demeurent en général inférieures à 6 kV, et elles sont représentées correctement par une onde de tension normalisée 1,2/50 µs (cf. **Fig. F68**).

Les courants induits par ces surtensions peuvent aussi être représentés par une onde de courant normalisée 8/20 µs de valeur crête de plusieurs dizaines d'ampères (cf. **Fig. F69**).

F39

Immunité

Courants de fuite transitoires : CEM

Selon la NF C 15-100 § 531.2.1.4, tout DDR installé doit avoir un niveau d'immunité minimal aux déclenchements indésirables.

■ Les DDR de "type S" (ou cran I et plus) admettent tous les courants transitoires de fuite à la terre, y compris ceux des parafoudres (cf. schémas d'installation au chapitre L § 1.3), de durée inférieure à 40 ms.

Les surtensions et courants transitoires mentionnés ci-contre, les commutations (bobines de contacteurs, relais, contacts secs), les décharges électrostatiques et les ondes électromagnétiques rayonnées (radio) relèvent du domaine de la compatibilité électromagnétique (pour plus de détails, consulter les Cahiers Techniques n° 120 et 149 de Schneider Electric).

■ Les DDR de type « A si » (super immunisés) évitent les déclenchements intempestifs dans les cas de réseaux pollués, effets de la foudre, courants à haute fréquence, composantes continues, transitoires, harmoniques, basses températures (-25 °C).

La NF C 15-100 § 771.314.2.1 recommande d'utiliser un DDR « si » de 30 mA pour le circuit spécifique d'un congélateur.

Courants de défauts à composantes pulsées ou continues DDR de type AC, A ou B

L'article 531-2-1-5 de la NF C 15-100 indique les dispositions à prendre si nécessaire.

La norme CEI 60755 (Exigences générales pour les dispositifs de protection à courant différentiel résiduel) définit trois types de DDR suivant la caractéristique du courant de défaut :

■ type AC

DDR pour lequel le déclenchement est assuré pour des courants alternatifs sinusoïdaux différentiels résiduels, sans composante continue.

■ type A

DDR pour lequel le déclenchement est assuré

□ pour des courants alternatifs sinusoïdaux différentiels résiduels,

□ en présence de courants continus pulsatoires différentiels résiduels spécifiés.

■ type B

DDR pour lequel le déclenchement est assuré

□ pour des courants identiques à ceux du type A,

□ pour des courants continus différentiels résiduels qui peuvent résulter d'un redressement triphasé.

Correspondance :

CEI 60364-5-51 § 512.2

et NF C 15-100 partie 5-51 § 512.2

Influences externes⁽¹⁾

Tenue au froid

Dans le cas de températures au dessous de -5°C, les relais électromécaniques très sensibles des DDR de haute sensibilité peuvent être mécaniquement bloqués par le givre en cas de condensation.

Les DDR de type «si» peuvent fonctionner jusqu'à une température de -25°C.

Atmosphères chimiques corrosives ou chargées de poussières :

Les alliages spéciaux utilisés dans la fabrication des DDR peuvent notablement être dégradés par la corrosion. Les poussières peuvent aussi bloquer le mouvement des parties mécaniques.

Les influences externes sont classées dans le Tableau 51A de la norme CEI 60364-5-51.

L'influence externe «Présence de substances corrosives ou polluantes» est identifiée par le code AFx (avec x qui représente le degré de sévérité de 1, négligeable, à 4, extrême).

Les règlements particuliers peuvent définir les dispositions à prendre et le type de DDR à mettre en œuvre (voir mesures à prendre en fonction des niveaux de sévérité dans le tableau de la **Figure F70**).

(1) Pour plus de renseignements sur les influences externes voir Chapitre E Paragraphe 3.

8 Dispositifs Différentiels à courant Résiduel (DDR)

Influence du réseau électrique	Réseau perturbé	DDR super immunisé Type A si :	DDR Type SiE 	DDR Type SiE 	DDR Type SiE
	Réseau propre	DDR immunisé standard Type AC		+ Protection supplémentaire appropriée (coffret ou unité fonctionnelle étanche)	+ Protection supplémentaire appropriée (coffret ou unité fonctionnelle étanche + surpression)
Présence de substance corrosive ou polluante CEI 60364 / NF C 15-100		Présence négligeable	Présence appréciable d'origine atmosphérique	Actions intermittentes ou accidentelles de certains produits chimiques ou polluants courants	Actions permanentes de produits chimiques ou polluants
Sévérité		AF1	AF2	AF3	AF4
Caractéristiques des matériels à mettre en œuvre		■ Normales	■ Conformité, par exemple, au test de brouillard salin	■ Protection contre les corrosions	■ Spécifiquement étudiées suivant le type de produit et de pollution

F41

Exemples de sites exposés	Influences Externes
Métallurgie, aciérie.	Présence de soufre, vapeur de soufre, H ₂ S.
Marina, port de commerce, bateau, bord de mer, chantier naval.	Atmosphère saline, en extérieur, humide, basse température.
Piscine, hôpital, agro alimentaire.	Composants chlorés.
Pétrochimie.	Gaz de combustion hydrogène, oxydes d'azote.
Élevage.	H ₂ S.

Fig. F70 : Caractéristiques des DDR selon l'influence externe classée AF - Sites suivant le type de pollution

Niveau d'immunité des DDR de la marque Schneider Electric

Les gammes de DDR de la marque Schneider Electric comprennent différents types de DDR permettant une protection contre les défauts d'isolement adaptée à chaque application. Le tableau de la Figure F71 indique le type de DDR à installer en fonction des perturbations probables au point d'installation.

Type de DDR	Déclenchement intempêtif (en absence de défaut)	Non déclenchement (en présence de défaut)				
		Courants de fuite naturelle HF	Courant de défaut avec		Basse température (jusqu'à -25°C)	Atmosphère corrosive et poussière
			Composantes pulsées (monophasé redressé)	Composantes continues pures		
AC	■				■	
A	■	■			■	
Si	■ ■ ■	■			■	
SiE	■ ■ ■	■			■ ■	
B	■ ■ ■	■	■		■	

Fig. F71 : Niveau d'immunité des DDR Schneider Electric

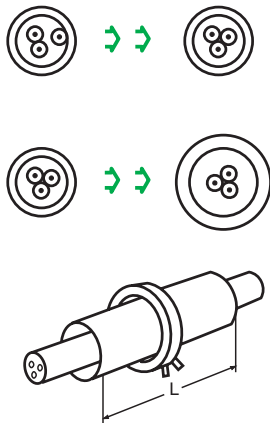
Immunité aux déclenchements intempestifs

Les DDR de type si/SiE ont été conçus pour pallier les déclenchements intempestifs et/ou les non déclenchements dans le cas de pollution du réseau électrique (effet induit de coups de foudre, courants HF, courants RF, etc.). La **Figure F72** indique les essais (et les niveaux d'essais) subis par les DDR de ce type.

F42

Type de perturbations	Ondes d'essais normalisées	Niveau d'essai Multi 9 : ID-RCCB, DPN Vigi, Vigi, C60, Vigi, C120, Vigi NG125 Type si/SiE
Perturbations permanentes		
Harmoniques	1 kHz	Courant de défaut = 8 x I Δ n
Perturbations transitoires		
Surtension foudre induite	1,2 / 50 μ s Impulsion (CEI/EN 61000-4-5)	4,5 kV entre conducteurs 5,5 kV / terre
Courant foudre induit	8 / 20 μ s Impulsion (CEI/EN 61008)	5 kA crête
Courant transitoire de manœuvre, indirect de foudre	0,5 μ s / 100 kHz Onde de courant (CEI/EN 61008)	400 A crête
Fonctionnement de para surtension en aval, charge de capacités	10 ms Impulsion	500 A
Compatibilité Électromagnétique		
Commutation de charges inductives, éclairage fluorescent, moteurs, etc.	Salves répétées (CEI 61000-4-4)	4 kV / 400 kHz
Éclairage fluorescent, circuits commandés par thyristors	Ondes RF conduites (CEI 61000-4-6)	66 mA (15 kHz à 150 kHz) 30 V (150 kHz à 230 MHz)
Ondes RF (TV et Radios, émetteurs, télécommunication, etc.)	Ondes RF émises 80 MHz à 1 GHz (CEI 61000-4-3)	30 V / m

Fig. F72 : Essais d'immunité aux déclenchements intempestifs subis par les DDR de marque Schneider Electric



L = 2 fois le diamètre du tore

Fig. F73 : 3 mesures pour réduire le rapport de sensibilité I Δ n/I ϕ (max)

Recommandations concernant l'installation des DDR à tore séparé

Le capteur de ce type de DDR est un tore (généralement circulaire) de matériau magnétique à très haute perméabilité, sur lequel est bobiné un circuit secondaire, l'ensemble constituant un transformateur de courant toroïdal.

A cause de cette haute perméabilité, l'équilibre des flux magnétiques peut être affecté par

- une dissymétrie, même légère, dans la position des conducteurs entourés par le circuit magnétique,
- une proximité trop grande avec des matériaux ferreux (coffret ou châssis métallique, etc.).

De ce fait, des courants d'appel importants (courant de démarrage, courant magnétisant de transformateurs, courant de mise sous tension de capacités) peuvent saturer localement ce matériau et provoquer des déclenchements indésirables.

Sans prendre de précautions particulières, le rapport de sensibilité, courant de fonctionnement I Δ n rapporté au courant maximum des phases I phase max, soit I Δ n/ I ϕ (max) est \leq 1/1000.

Cette limite peut être augmentée sensiblement en prenant les mesures illustrées en **Figure F73** et résumées dans le tableau de la **Figure F74**.

Mesures	Diamètre (mm)	Gain de sensibilité ⁽¹⁾
Centrer avec précaution les conducteurs dans le tore		3
Prendre un tore de la taille supérieure	ϕ 50 \rightarrow ϕ 100	2
	ϕ 80 \rightarrow ϕ 200	2
	ϕ 120 \rightarrow ϕ 300	6
Utiliser un manchon magnétique (fer doux - tôle magnétique) : ■ d'épaisseur 0,5 mm, ■ de longueur 2 x diamètre intérieur du tore, ■ entourant complètement les conducteurs et dépassant de manière égale de chaque côté du tore.	ϕ 50	4
	ϕ 80	3
	ϕ 120	3
	ϕ 180	2

Ces mesures peuvent être combinés : par exemple, en centrant avec précaution les conducteurs dans un tore de 200 mm de diamètre (alors que un diamètre de tore de 50 mm était suffisant) et en utilisant un manchon magnétique, le rapport 1/1000 devient 1/30000.

Fig. F74 : Mesures pour réduire le rapport de sensibilité

(1) Le gain représente en fait une diminution du rapport de sensibilité.

8 Dispositifs Différentiels à courant Résiduel (DDR)

Correspondance :
CEI 60364-5-53 § 535.2.2 et
NF C 15-100 § 535.3.2

Choix des caractéristiques d'un interrupteur différentiel (ID) Courant assigné

La norme CEI 60364-5-53 (§ 535.2.2) définit les règles.
Le courant assigné d'un interrupteur différentiel est choisi en fonction du courant maximum qui doit le traverser :

- si l'interrupteur différentiel est placé en série et en aval d'un disjoncteur, le courant assigné des 2 appareils est le même soit (cf. **Fig. F75a**) : $I_n \geq I_{n1}$,
- si l'interrupteur différentiel est placé en amont d'un groupe de disjoncteurs, le courant assigné est \geq (cf. **Fig. F75b**) : $I_n \geq k_u \times k_s (I_{n1} + I_{n2} + I_{n3} + I_{n4})$.

Exigences de tenue électrodynamique

La protection contre les courts-circuits d'un interrupteur différentiel doit être assurée par un Dispositif de Protection contre les Courts-Circuits (DPCC) placé en amont. Cependant il est considéré que celle-ci peut aussi être réalisée par les DPCC situés en aval (sur les départs) si l'interrupteur est installé dans le même emplacement (coffret) que les DPCC (conformément aux normes appropriées, pour la France NF C 15-100 § 535.3.2).

La coordination entre les interrupteurs différentiels et les DPCC est nécessaire ; les constructeurs fournissent en général des tableaux d'association de DPCC et d'interrupteurs différentiels (cf. **Fig. F76**).

F43

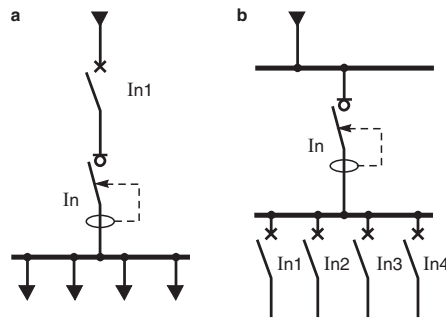


Fig. F75 : Interrupteurs différentiels associés à des disjoncteurs

Association disjoncteurs avec interrupteurs différentiels – I_{cc} efficace en kA

Disjoncteur amont	DT40	DT40N	C60N	C60H	C60L	C120N	C120H	NG125N	NG125H	
ID aval 230V	2P I 20A	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	3	4,5	4,5	4,5
	IN-A 40A	6	10	20	30	30	10	10	15	15
	IN-A 63A	6	10	20	30	30	10	10	15	15
	I 100A						15	15	15	15
400V	4P I 20A	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	2	3	3	3
	IN-A 40A	6	10	10	15	15	7	7	15	15
	IN-A 63A	6	10	10	15	15	7	7	15	15
	NG 125NA						10	16	25	50

Association fusibles avec interrupteurs différentiels – I_{cc} efficace en kA

fusible amont	20A	63A	100A	125A
ID aval 230V	2P I 20A	8		
	IN-A 40A		30	20
	IN-A 63A		30	20
	I 100A			6
400V	4P I 20A	8		
	IN-A 40A		30	20
	IN-A 63A		30	20
	NG 125NA			50

Fig. F76 : Exemple de tableaux constructeurs d'association Interrupteur différentiel/DPCC et Interrupteur différentiel/fusible (produits Schneider Electric)

Choix des DDR pour des circuits avec variateur de vitesse

Les variateurs de vitesse sont de plus en plus utilisés pour alimenter les moteurs asynchrones. En effet ils procurent de multiples avantages : un courant de démarrage limité (environ 1,5 fois le courant nominal), une large plage de réglage de la vitesse avec possibilité de survitesse, une facilité de freinage électrique, l'inversion de sens de marche, etc.

Pour cela ces dispositifs électroniques comportent un premier circuit de redressement pour obtenir un courant continu qui est ensuite modulé par un second circuit afin de faire varier la fréquence et la puissance disponible pour l'alimentation des moteurs.

Le fonctionnement des DDR avec des variateurs de vitesse doit donc prendre en compte la présence éventuelle de composante continue et de courants à fréquence variable.

La norme NF C 15-100/A1, prenant en compte cette difficulté, impose un choix de DDR en fonction des conditions d'installation et du type de variateur. Le tableau de la **Figure F77** précise ce choix.

F44

Alimentation du variateur	Protection contre les contacts indirects			Protection complémentaires contre les contacts directs		
	Triphasée		Monophasée	Triphasée		Monophasée
Caractéristiques du matériel et de l'installation	Sans double isolement sur l'étage à courant continu	Avec double isolement sur l'étage à courant continu	Avec ou sans double isolement sur l'étage à courant continu	Sans double isolement sur l'étage à courant continu	Avec double isolement sur l'étage à courant continu	Avec ou sans double isolement sur l'étage à courant continu
TT (IT avec des masses non interconnectées)	Type B (≥ 300 mA)	Type A (≥ 300 mA)		Type B (30 mA)	Type A (30 mA)	
TN-S	Type A (≥ 300 mA)*					
IT	Type A (≥ 300 mA)*					

(*) : Le défaut d'isolement s'apparente à un court-circuit. Le déclenchement doit normalement être assuré par la protection contre les courts-circuits, mais l'utilisation d'un DDR est recommandée en cas de risque de non déclenchement des protections à maximum de courant.

Fig. F77 : Choix du DDR en fonction du SLT et du type de variateur (d'après le tableau 55A de la norme NF C 5-100/A1 § 553.2.6)

Il est aussi conseillé de :

- ne raccorder qu'un seul variateur par DDR,
- prévoir un DDR comme mesure de protection complémentaire contre un contact direct lorsque la résistance de freinage est accessible.