

La protection différentielle dans les installations électriques basse tension

Ce guide technique a pour objectif de mettre en évidence les principes de fonctionnement des protections différentielles et de proposer les principales solutions à mettre en œuvre pour assurer la sécurité des personnes tout en préservant la meilleure disponibilité de l'énergie.

p.1

Rappel sur les risques électriques

p.2

Fonctionnement d'un dispositif différentiel

p.4

Applications des protections différentielles

p.6

Disponibilité de l'énergie

Perturbations électriques et conséquences sur les protections différentielles

p.9

Conclusion

Rappel sur les risques électriques

■ Risque d'électrisation ou d'électrocution.

Toute installation alimentée par une source d'énergie électrique capable de générer une tension de contact U_C supérieure ou égale à la tension limite U_L peut présenter un risque potentiel pour l'utilisateur ($U_L = 50$ V pour les locaux secs ou humides, $U_L = 25$ V pour les locaux mouillés). Le corps humain peut, en cas de contact accidentel avec une pièce sous tension, être assimilé à un récepteur qui va laisser passer un courant. Celui-ci engendre des conséquences proportionnelles à la valeur du courant circulant dans l'organisme (figure 1) et qui dépendent du temps de contact. Les différentes études sur la protection des personnes ont affiné le risque qui se traduit, pour un signal à 50 Hz, par la courbe "intensité/temps de contact" donnée par la norme internationale CEI 60479-1 (figure 2). Celle-ci est traduite dans la normalisation française par les courbes 41GA et 48GE de la NFC 15-100 qui définissent les limites "tension réseau/temps de coupure" à ne pas dépasser en fonction de la tension limite U_L . L'application de ces impératifs débouche naturellement sur la mise en œuvre des schémas de liaison à la terre (voir guide technique/ Intersections de novembre 1998) et sur l'utilisation des Dispositifs Différentiels Résiduels (DDR), conformément aux directives de la norme NFC 15-100.

Tension de contact présumée (V)	Temps de coupure maximal du dispositif de protection (s)	
	Courant alternatif (a)	Courant continu (b)
25	5	5
50	0,48	5
75	0,30	2
90	0,25	0,80
110	0,18	0,50
150	0,12	0,25
230	0,05	0,06
280	0,02	0,02

Figure 1. Durée maximale de la tension de contact présumée dans les conditions correspondant à $U_L = 25$ V.

Tension de contact présumée (V)	Temps de coupure maximal du dispositif de protection (s)	
	Courant alternatif	Courant continu
■ Locaux ou emplacements secs ou humides : $U_L \leq 50$ V		
< 50	5	5
50	5	5
75	0,60	5
90	0,45	5
120	0,34	5
150	0,27	1
220	0,17	0,40
280	0,12	0,30
350	0,08	0,20
500	0,04	0,10
■ Locaux ou emplacements humides : $U_L \leq 25$ V		
25	5	5
50	0,48	5
75	0,30	2
90	0,25	0,80
110	0,18	0,50
150	0,10	0,25
220	0,05	0,06
280	0,02	0,02

Figure 2. Durée maximale de maintien de la tension de contact selon norme CEI 3654.

Les courbes valables à 50 Hz ne le sont pas à des fréquences beaucoup plus élevées. La norme CEI 60479-2 traite des effets du courant alternatif de fréquence supérieure à 50 Hz. Le seuil de fibrillation ventriculaire (30 mA 50 Hz) augmente en fonction de la fréquence du signal suivant une courbe de type exponentielle définie par l'évolution du facteur de fréquence (figure 3). Par exemple à 400 Hz, le facteur de fréquence étant de 6, l'effet physiologique d'un courant 30 mA 50 Hz sera le même que celui d'un courant 180 mA 400 Hz. Ce constat a permis une évolution des produits différentiels et la réalisation de la nouvelle gamme de protection différentielle Merlin Gerin (différentiels type "si", relais durci...).

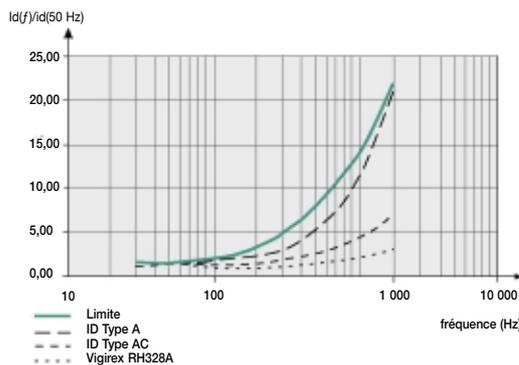


Figure 3. Variations du seuil de fibrillation ventriculaire (selon CEI 60479-2) et des seuils de différents DDR réglés sur 30 mA, pour des fréquences comprises entre 50/60 Hz et 2 kHz (source Schneider Electric).

■ Risque d'incendie

Il est prouvé, tests à l'appui, qu'un courant de défaut de 500 mA passant entre deux pièces métalliques en contact ponctuel permet de chauffer celles-ci au

rouge vif, et peut provoquer un départ d'incendie. En outre un matériau partiellement isolant accepte le passage d'un courant de défaut. Ce dernier augmente progressivement avec le vieillissement du matériau et provoque un échauffement de celui-ci. Une protection adéquate est donc obligatoire dans tous locaux à risque d'incendie, la CEI 364 préconisant un système différentiel de sensibilité maximum égale à 500 mA en tête de distribution. Compte-tenu des travaux et essais menés en laboratoire, Schneider Electric préconise une valeur de 300 mA en tête des installations présentant des risques d'incendie.

Fonctionnement d'un dispositif différentiel

Le Dispositif Différentiel Résiduel est un appareil de protection qui surveille le courant résiduel consécutif à la somme des courants vectoriels des conducteurs actifs. Par définition la somme des courants de l'ensemble des conducteurs (phases + neutre + terre) est nulle dans une distribution électrique. Le différentiel mesurant la somme des courants des conducteurs actifs (phase + neutre) détermine donc indirectement la valeur du courant de fuite à la terre.

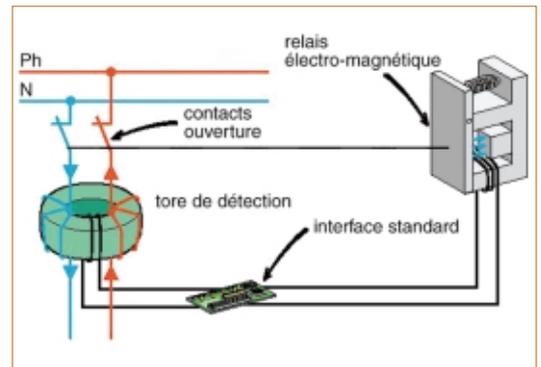


Figure 4. Principe du DDR standard.

Un DDR est constitué de trois parties principales suivant le principe de la figure 4 :

- La **tore**, en matériau ferromagnétique, sert à détecter, capter l'énergie et conditionner le courant de défaut. Son enroulement primaire est constitué de l'ensemble des phases et du neutre à protéger. Les courants circulant dans ces câbles génèrent des flux magnétiques F dans le tore, traduits par l'équation vectorielle $F = K.I$ dans laquelle K est une constante liée au tore. En fonctionnement normal, en absence de tout défaut, la somme des courants circulant dans les câbles actifs étant nulle, la somme des flux F directement proportionnels est nulle. A l'apparition d'un défaut, il se crée un déséquilibre de courant et la somme n'est plus nulle. Le flux résultant global F est donc non nul et suivant le principe de la loi de Faraday, il génère une tension $E = -NdF/dt$ sur l'enroulement de détection.

- Une interface éventuelle qui traite l'image du courant de défaut transmise par l'enroulement de détection. Le traitement peut être une simple lecture provoquant l'ordre de déclenchement, ou comme dans les nouveaux matériels Merlin Gerin, une électronique de filtrage permettant de s'affranchir des signaux liés aux perturbations du réseau électrique.

- Un relais électromécanique, commandé par l'interface de traitement, assure le déclenchement et donc l'ouverture des contacts de coupure du réseau.

La plupart des dispositifs différentiels de la gamme multi 9 possèdent une technologie à propre courant dont l'énergie du défaut est à l'origine du déclenchement. Cette solution est la plus sûre, elle ne dépend pas d'une source extérieure susceptible d'être défaillante.

D'autres technologies sont possibles :

- différentiels à propre tension, incorporant une source de tension auxiliaire nécessaire au déclenchement et issue du circuit contrôlé,
 - différentiels à sources auxiliaires, incorporant une alimentation propre nécessaire au déclenchement.
- Ces appareils ne peuvent provoquer le déclenchement que si cette source auxiliaire est disponible au moment de l'apparition du courant de défaut.

■ Différents types de différentiels.

Les DDR sont des matériels définis par la norme internationale CEI 60755 qui prescrit trois types de protections, ainsi que des seuils de déclenchement ou sensibilités.

□ **Différentiel Classe AC** (courants alternatifs sinusoïdaux) :

La courbe de la figure 5 met en évidence de façon schématique la détection d'un courant de fuite : un courant de fuite i_1 sur réseau alternatif génère un flux magnétique $\Delta\Phi_1$ suivant le cycle d'hystérésis du tore ferromagnétique. Sur ce type de matériel, un courant i_2 sur un départ alimentant une électronique de redressement (apparition d'une composante continue par redressement simple alternance) provoque un flux $\Delta\Phi_2$ beaucoup plus faible qui ne sera pas détecté.

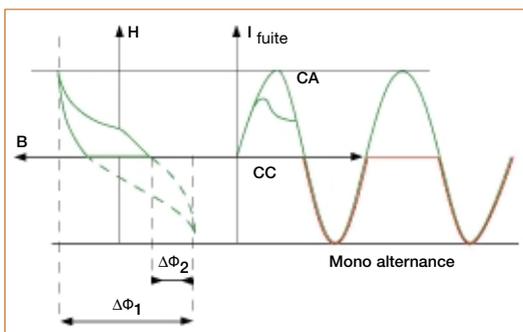


Figure 5. Courbe du tore DDR standard.

□ **Différentiel classe A** (courants alternatifs sinusoïdaux ou à composante continue pulsée) :

La protection différentielle de classe A est assurée par la nouvelle gamme super-immunisée constituée des différentiels modulaires type "si" à tore intégré, des blocs vigi des disjoncteurs de puissance et de la nouvelle gamme de relais différentiels à tores séparés (RH10, RH320, RHU, RMH...).

La technologie de cette nouvelle gamme de différentiels est basée sur le même principe de fonctionnement que la technologie standard. Elle intègre toutefois des composants spécialement choisis pour résoudre les problèmes liés aux perturbations de plus en plus fréquentes sur les réseaux. Le tore de détection de la gamme "si" utilise des alliages ferromagnétiques à courbe d'hystérésis allongée (figure 6), qui permettent d'augmenter significativement le rapport $\Delta\Phi_2 / \Delta\Phi_1$. La détection d'une fuite de courant sur signal redressé est alors possible. L'évolution du système de filtrage électronique, intégrant un composant de type ASIC (application specific integrated circuit = circuit intégré conçu pour une application spécifique) dans le traitement du signal généré par le tore, améliore les performances par rapport aux produits standard dans les domaines suivants :

- influence des surtensions,
- influence des hautes fréquences,
- influence du tore de détection,
- stabilité du seuil de déclenchement.

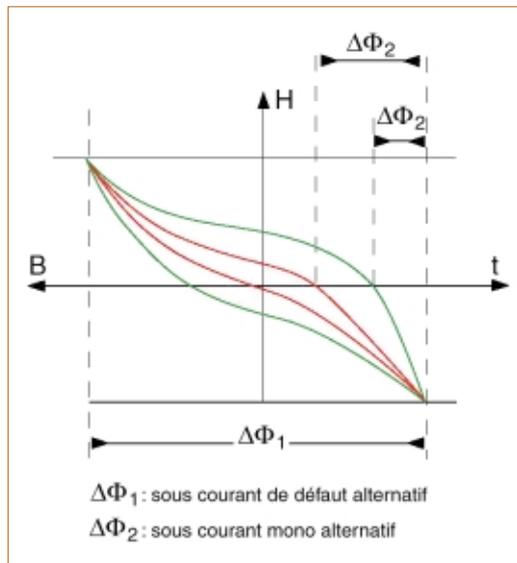


Figure 6. Courbe du tore DDR type "si".

□ **Différentiel classe B** :

Le différentiel classe B est un appareil conçu pour la protection des réseaux à simple alternance redressés et filtrés par charge capacitive.

Le marché du différentiel est aujourd'hui tenu par les appareils standard (type AC) et par les appareils de la gamme "si" (type A) en forte progression.

Les appareils de classe B restent réservés à des applications spécifiques.

Les sensibilités normalisées dans la CEI 60755 sont regroupées en trois appellations :

- haute sensibilité -HS- : 6, 10 et 30 mA,
- moyenne sensibilité -MS- : 100, 300 et 500 mA
- basse sensibilité -BS- : 1, 3, 5, 10 et 20 A.

La haute sensibilité est utilisée le plus souvent en moyen complémentaire de sécurité contre le contact direct. Les autres sensibilités le sont pour toutes autres nécessités de protection (contacts indirects, risques d'incendie, risques de destruction de machines).

Trois types de matériels répondent aux différentes classes et niveaux de protections :



Interrupteur différentiel ID si.

Disjoncteur différentiel DPN N Vigis si.

Relais différentiel Vigirex RH 328A.

- L'interrupteur différentiel : il établit, supporte et coupe des courants dans les conditions de service normales et provoque l'ouverture des contacts quand le courant différentiel atteint, dans des conditions spécifiques, la valeur de sensibilité. L'interrupteur différentiel n'est pas protégé thermiquement et doit

être associé à une protection magnéto-thermique.
- Le disjoncteur différentiel : il comporte en plus de la fonction différentielle, un dispositif de protection contre les surcharges et les courts-circuits.

- Le relais différentiel : il comporte simplement un détecteur de défaut qui émet un signal. Il est associé mécaniquement ou électriquement à un disjoncteur classique dont il provoque l'ouverture.

Applications des protections différentielles

Bien que les risques soient connus depuis longtemps, les premières mesures différentielles étaient surtout une protection contre le "vol" de courant électrique par câblage entre phase et terre ! Très vite ces protections se sont imposées en distribution électrique dans le domaine de la protection des personnes et ceci quel que soit le schéma de liaison à la terre utilisé.

□ En schéma TT :

Le DDR est l'appareil de base de la protection des personnes, son utilisation est obligatoire pour garantir la sécurité sur l'ensemble de l'installation électrique.

□ En schéma TNS et IT :

La protection par disjoncteur magnétique assure l'essentiel de la sécurité mais une protection complémentaire par DDR est nécessaire dans différents cas spécifiques :

- grande longueur de câble provoquant le risque de non-protection par la fonction magnétique,
- installations à masses électriques non interconnectées,
- installations à risques d'incendie ou d'explosion,
- installations existantes à modifier.

Les DDR "Haute Sensibilité" peuvent être utilisés comme protection complémentaire contre le contact direct dans certaines applications spécifiques (banc de test, applications pédagogiques...).

Ils assurent alors la coupure de l'énergie en cas de contact accidentel direct à une phase de l'installation si le courant établi est supérieur au seuil de déclenchement. Ils ne sont en aucun cas une protection suffisante contre ce risque. Ils ne peuvent pas se substituer aux protections à mettre en place contre le risque de contact direct (protection de l'installation et application des prescriptions de sécurité UTE C 18-510).

Le tableau de la figure 7 récapitule l'ensemble des obligations de DDR définies dans la norme NFC 15-100.

Applications NF C 15-100	Mesures de protection		
	TT	TN	IT
Dispositions générales Chapitre 413.1	DDR : U_L $I\Delta n \leq -$ R_A	Déclencheurs magnéto-thermiques	CPI (contrôleur permanent d'isolement) 1 ^{er} défaut : signalisation 2 ^e défaut : déclenchement magnéto-thermique
Dispositions particulières : ■ Grandes longueurs de câbles		3 solutions : - augmenter section des câbles, - magnétique bas - DDR	
■ Masses non interconnectées Chap. 413.1 (4 et 5)		DDR	DDR
Locaux à risque d'incendie Chap. 482.2.10	DDR ≤ 500 mA	TN-S DDR ≤ 500 mA	CPI ou DDR ≤ 500 mA
Sites classés avec risque d'explosion Arrêté du 29.07.98 : silos et stockage dégageant des poussières organiques inflammables	DDR avec préalarme		CPI ou DDR avec préalarme
Protections complémentaires contre les contacts directs : Chap. 412.5 ■ Circuits prises de courant : Chap. 532-2-6 ■ Prises ≤ 32 A ■ Prises de courant tous calibres dans les locaux humides et installations temporaires	DDR 30 mA		
■ Chap. 701-55 : salles d'eau ■ Chap. 702 : piscines ■ Chap. 704 : installations de chantier ■ Chap. 705 : établissements agricoles ■ Chap. 711 : installations foraines ■ Chap. 708-9 : alimentations de caravanes, bateaux de plaisance ■ Chap. 754 : alimentations de véhicules ou de remorques à usage : - médical, - atelier, - exposition ■ Chap. 753 : conducteurs électriques chauffants noyés dans les parois des bâtiments ■ Chap. 771.532.1 : locaux d'habitation ■ Mobilier urbain			
■ Eclairage public NF C 17.200			
■ Enseignes lumineuses	DDR 500 mA type \square - 30 mA		

Figure 7. Obligations de protection par DDR (source NFC 15-100).

Disponibilité de l'énergie

Dans un système basé sur la recherche de productivité, la disponibilité de l'énergie est une composante importante du cahier des charges de l'installation électrique. Celle-ci sera pénalisée si des déclenchements intempestifs des protections électriques provoquent la mise hors tension sans raison valable de tout ou partie d'une installation électrique. Les déclenchements intempestifs ont généralement deux causes possibles :

- un déclenchement général lié à un défaut sur une installation protégée par DDR si la conception du réseau de distribution n'a pas pris en compte la mise en œuvre d'une sélectivité des protections différentielles.
- le déclenchement d'une protection de l'installation lié à une détection réelle, provoquée par des signaux perturbants (coup de foudre, signaux d'harmoniques, composante continue sur le réseau ...) pour lesquels il n'y a pas lieu de sécuriser l'installation par ouverture des circuits.

Chaque phénomène appelle une solution propre :

- l'élimination d'un défaut se fera dans une installation conçue dans un principe de sélectivité des protections différentielles, assurant la suppression du défaut au plus près de celui-ci.
- les déclenchements intempestifs liés aux perturbations feront appel à la gamme de matériels de type "si".

Perturbations électriques et conséquences sur les protections différentielles

■ La sélectivité des protections différentielles.

La mise en œuvre des protections différentielles est déterminée dans un premier temps par les obligations normatives. L'obligation de protections différentielles 30 mA sur toute prise de courant inférieures à 32 A en est l'exemple le plus souvent cité. Il est à noter que si aucune obligation n'est dictée par la norme, la mise en œuvre de différentiels 10 mA dans l'habitat est vivement conseillée sur les prises électriques extérieures pouvant alimenter des appareils de jardinage susceptibles d'être mis sous

tension dans des conditions d'environnement très humide.

Après application des obligations légales, le choix d'une protection différentielle ne doit avoir qu'un seul but : la garantie d'absence de toute tension de contact supérieure à la tension limite U_L correspondant à l'état de l'installation. Lorsque toutes les masses électriques sont reliées à la terre conformément à la norme NFC 15-100 ($R_A < 100 \Omega$), la sécurité peut être acquise avec des valeurs différentielles assez importantes. Pour une prise de terre de 10Ω , la valeur $U_L = 50 \text{ V}$ autorise un courant de défaut $I_d \leq 5 \text{ A}$.

La mise en œuvre de la sélectivité différentielle se réalise entre deux protections placées en série (sélectivité verticale) ou entre appareils placés sur des circuits parallèles (sélectivité horizontale par expression).

La sélectivité verticale fait appel à deux obligations :

- une composante ampéremétrique par le doublement de la valeur différentielle entre deux niveaux de protection ($I_{\Delta n_1} \geq 2 I_{\Delta n_2}$). Cette obligation résulte de la plage normative de déclenchement du DDR. Celui-ci doit avoir déclenché à $I_{\Delta n}$ et ne doit pas déclencher à $I_{\Delta n}/2$. Un DDR 30 mA peut en théorie avoir un seuil de déclenchement compris entre 15 mA et 30 mA. Pour garantir la sélectivité, le DDR amont doit avoir un seuil minimum de déclenchement de 30 mA. Si $I_{\Delta n}/2 = 30 \text{ mA}$, la valeur nominale est au minimum $I_{\Delta n} = 60 \text{ mA}$ soit le double de la valeur aval. En pratique, de par les valeurs normatives de la CEI, le rapport sera supérieur ou égal à 3.
- une composante chronométrique incluant sur le DDR amont un temps de retard minimum T_R tel que $T_R = T_D + T_M$, dans lequel T_D est le temps de déclenchement de la protection aval, T_M est le temps de démagnétisation du tore de détection du DDR amont.

Cette règle s'applique sur toute installation électrique.

- en tarif bleu, la sélectivité est obtenue entre un DDR 30 mA et le disjoncteur d'abonné uniquement si celui-ci est du type DB90 S, le S signifiant "sélectivité". Le DB90 S de seuil 500 mA inclus un retard de déclenchement de 40 ms qui assure l'ouverture du seul DDR 30 mA.
- en tarif jaune ou vert, la mise en place d'appareillage différentiels sélectifs (interrupteur différentiel type S) ou permettant le réglage d'une temporisation (blocs adaptables NG 125, relais différentiels) est nécessaire dès le deuxième niveau de protection.

La sélectivité horizontale par expression, définie par la norme C15-100 § 536.3.2, génère l'économie en tête d'installation d'un dispositif différentiel lorsque tous les départs de l'armoire sont protégés par des DDR. Cette sélectivité semble a priori acquise de

fait ; un défaut sur un départ est vu par le différentiel protégeant celui-ci, mais n'est pas vu par un différentiel protégeant un circuit sain. Dans la pratique la sélectivité peut être prise en défaut par un phénomène appelé déclenchement par sympathie. Le déclenchement par sympathie se produit sur la protection d'un départ sain comportant une composante capacitive importante (figure 8), lors de l'ouverture d'une protection d'un départ parallèle. L'élimination du défaut entraîne un phénomène de surtension qui associé à l'effet capacitif du départ sain provoque le déclenchement du DDR par le courant de charge capacitif.

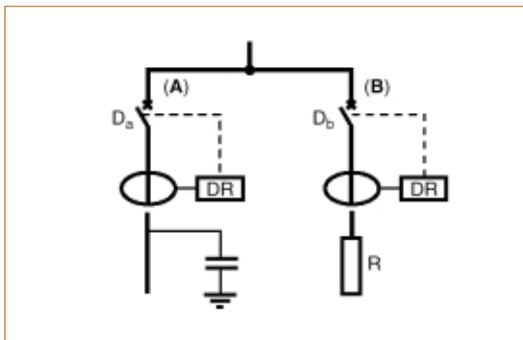


Figure 8. Déclenchement par sympathie lié à une surtension.

Un autre type de déclenchement par sympathie est lié à la remontée de courant capacitif lors d'une montée en potentiel d'une terre sur défaut de forte intensité (figure 9).

Ce type d'anomalie s'apparente aux perturbations hautes fréquences rencontrées sur le réseau ; la solution consiste à utiliser des DDR classe AC de type "si".

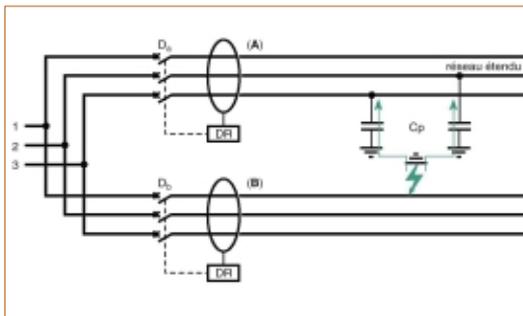


Figure 9. Déclenchement par sympathie sur un défaut de terre.

■ Les courants de fuite

Le courant de fuite est un courant qui par définition s'écoule entre les parties actives et la connexion de terre en l'absence de défaut électrique.

Contrairement au courant de défaut, celui-ci est lié au fonctionnement normal de l'installation.

Il est essentiellement dû aux différents récepteurs sur lesquels l'alimentation électrique est reliée à la terre

par l'intermédiaire de composants électroniques capacitifs (micro-ordinateurs, variateurs de vitesse...) ainsi qu'aux câbles de liaison en fonction des caractéristiques propres de l'isolant utilisé.

Ce courant présente deux caractéristiques :

- il existe sur toute installation électrique quelle qu'elle soit ; sa valeur d'origine est proportionnelle à l'étendue des câbles (environ 15 mA / km) et au nombre de récepteurs concernés.

- il est amené à augmenter progressivement dans le temps en fonction du vieillissement des isolants de l'installation.

- il est majoré à la mise sous tension de toute ou partie de l'installation par un phénomène d'appel de courant de charge des capacités concernées.

Quelques exemples de courant de fuite sont présentés dans le tableau de la figure 10.

Tableau 1	
Pour un courant assigné	Limite maximale du courant de fuite
< 4 A	2 mA
> 4 A et < 10 A	0,5 mA/A
> 10 A	5 mA

Tableau 2	
Pour un courant assigné	Limite maximale
< 7 A	3,5 mA
> 7 A et < 20 A	0,5 mA/A
> 20 A	10 mA

Tableau 3	
Courants de fuite relevés dans les installations	
Matériel électrique	Courant de fuite relevé (mA)
Télécopieur	0,5 à 1
Imprimante	< 1
Poste de travail informatique (U.C., écran et imprimante)	1 à 3
Photocopieuse	0,5 à 1,5
Planchers chauffants	1 mA / kW
Filtres monophasés ou triphasés	1 mA / récepteur

Figure 10. Courants de fuite relevés dans les installations (étude services techniques Schneider Electric).

La conception d'une installation électrique doit prévoir la mise en place de protections différentielles assurant la sécurité des personnes et des biens en tenant compte de ces courants de fuite. Ceux-ci en s'additionnant dans les câbles amonts de l'installation peuvent atteindre la valeur du seuil de déclenchement des protections.

La solution consiste à limiter le nombre d'appareils protégés par un même DDR. Ainsi un DDR standard favorise la protection de 2 à 4 micro-ordinateurs maximum, un nombre plus important risquant de provoquer des déclenchements intempestifs par l'appel de courant à la mise sous tension.

Le différentiel type "si", grâce à son comportement face aux courants transitoires, est indiqué pour les installations informatiques et plus généralement pour toute installation à effet capacitif. Il autorise la mise en œuvre d'un plus grand nombre de machines sans déclenchement intempestif (7 à 8 micro-ordinateurs).

■ Les harmoniques

De plus en plus de matériels électriques sont d'importants générateurs d'harmoniques qui entretiennent un niveau de perturbation non négligeable sur la composante courant.

A signaler notamment :

- en milieu industriel :
 - convertisseurs statiques,
 - fours à arc,
 - éclairages,
 - autres matériels.
- en milieu tertiaire ou habitat :
 - appareillages électroniques courants (informatique, appareillages vidéo...),
 - éclairages basse consommation.

Les harmoniques générées sur le réseau remontent dans les câbles jusqu'aux tableaux de distribution et se retrouvent sur les départs protégés par différentiels.

D'une façon générale, en fonctionnement normal, les protections différentielles sont peu perturbées par les harmoniques de courant qui sont des perturbations de mode différentiel (la somme vectorielle des courants de phases et neutre est nulle).

Si le réseau supporte des harmoniques de tension, celles-ci, présentes aux bornes des capacités de filtrage, vont générer des courants de fuite supplémentaires par l'intermédiaire de ces mêmes capacités. Ce cas peut se trouver amplifié lorsqu'une installation est alimentée par génératrice dans une configuration normal/secours, le taux de distorsion en tension étant généralement plus élevé que sur une installation alimentée par le réseau. Les courants harmoniques de rangs 3 (150 Hz) et 5 (250 Hz) sont alors non négligeables ; ils s'additionnent aux courants de fuite à 50 Hz, aux phénomènes

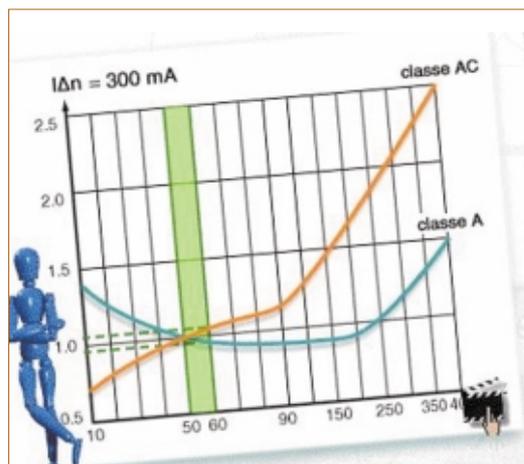


Figure 11. Sensibilités des différentiels en fonction de la fréquence.

de perturbation HF et peuvent provoquer des déclenchements intempestifs sur ouverture ou fermeture d'un contacteur, mise sous tension d'éclairage...

Le DDR "si" comporte, de par son tore et son électronique, une meilleure tenue liée à un durcissement progressif sur les fréquences harmoniques (figure 11).

Il permet donc de s'affranchir de ces perturbations. Il s'installe généralement en complément de solutions de filtrage sur un ou plusieurs rangs d'harmoniques. Il est alors intéressant de réaliser ce filtrage au plus près de la source des perturbations afin d'éviter la remontée de ces signaux sur l'installation amont et de protéger le DDR. La mise en place d'un système filtre passif (rang 3 ou rang 5) + filtre actif (rangs 2 à 13) répond à ce besoin.

Schneider Electric propose, avec le banc HarmoCEM un équipement pédagogique qui appréhende les effets des perturbations basses et hautes fréquences et les différentes techniques de filtrage possibles.



Équipement pédagogique HarmoCEM.

■ Les courants porteurs

Il s'agit de signaux volontairement injectés sur le réseau ayant plusieurs sources :

- le distributeur d'énergie dans le cadre des différentes tarifications,
- des systèmes électriques communicants implantés sur une installation. Ces signaux à fréquences supérieures à la fréquence fondamentale peuvent s'apparenter aux perturbations harmoniques. Ces signaux sont des signaux de mode différentiel ayant des niveaux de tension trop faibles pour perturber les protections différentielles.

D'éventuelles fuites à la terre liées à la présence de filtres, accordés sur la fréquence de fonctionnement de ces matériels, provoquent le non-fonctionnement du système bien avant de perturber les protections différentielles.

■ Les composantes continues

L'alimentation de nombreux appareils et machines comportent des dispositifs redresseur (diodes, thyristors, triac). En cas de défaut d'isolation en aval de ces dispositifs, le courant de fuite vers la terre peut comporter une composante continue qui aveugle éventuellement le dispositif différentiel. La figure 5 met en évidence la variation de flux en régime alternatif $\Delta\Phi_1$ et la variation de flux en régime mono alterné $\Delta\Phi_2$. Le cycle d'hystérésis du noyau magnétique n'est pas complet et est trop faible pour créer une tension suffisante permettant l'apparition d'un courant résiduel induit.

Deux solutions permettent de s'affranchir de ce phénomène :

- l'utilisation d'un condensateur accordé avec le tore assure l'obtention, à la sortie de celui-ci, une tension plus élevée et relativement sinusoïdale,
- l'utilisation d'un noyau magnétique toroïdale (figure 6) à cycle d'hystérésis couché (faible induction rémanente) amplifie le cycle d'hystérésis et donc augmente le $\Delta\Phi_2$. Cette solution est mise en pratique sur l'ensemble des différentiels de la gamme "si".

■ Les courants de fuite transitoires en haute fréquence

Le courant transitoire en haute fréquence est l'un des phénomènes les plus perturbants. Son origine est diverse :

- origine naturelle : le phénomène foudre sur les installations électrique (voir paragraphe foudre du présent guide).
- origine industrielle : surtensions de manœuvres associées aux circuits capacitifs, réactances électroniques d'éclairage fluorescent, étage d'entrée des variateurs de vitesse non munis de filtre CEM, alimentations à découpages... Les perturbations de ces signaux hautes fréquences peuvent être de deux ordres :
 - le non-déclenchement par aveuglement du dispositif de mesure. Celui-ci est lié à une saturation magnétique du tore par les hautes fréquences dont le niveau est trop important. Ce phénomène apparaît par exemple sur un départ monophasé de type "éclairage" protégé par un DDR standard à partir d'une vingtaine de ballasts électroniques. Un défaut 50 Hz n'est alors plus protégé par le différentiel, la sécurité des personnes n'est plus assurée.
 - si le niveau de courant HF est plus faible, le relais de déclenchement du différentiel standard est présensibilisé par celui-ci. Une simple commutation d'un circuit parallèle peut alors provoquer une sensibilisation suffisante du tore de détection pour entraîner un déclenchement intempestif.

Là encore, la solution consiste à utiliser un dispositif différentiel de type "si". Ils sont conçus pour éviter le non-déclenchement grâce au choix des matériaux du tore. La limite de saturation de l'exemple ci-dessus est repoussé à 50 ballasts sur un circuit monophasé protégé par un dispositif de type "si". Le filtrage électronique des signaux hautes fréquences réalisé par l'électronique du "si" évite les phénomènes de déclenchement intempestifs provoqués par une onde HF liée à une commutation.

■ Utilisation en ambiance froide

Le fonctionnement d'un dispositif différentiel standard Merlin Gerin est garanti pour des températures ambiantes comprises entre -5 °C et +40 °C. Cette plage est largement suffisante pour une utilisation à l'intérieur des bâtiments. Dans les installations soumises à basses températures (chantier, camping...) la limite de fonctionnement vis-à-vis de la température basse peut être dépassée. On assiste alors à un phénomène de modification des capacités magnétiques du tore provoquant une augmentation de la sensibilité de l'appareil. L'emploi des différentiels durcis de la gamme "si" garantit un bon fonctionnement jusqu'à des températures de -25 °C.

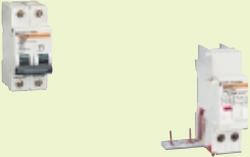
Conclusion

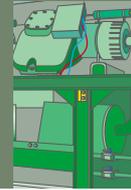
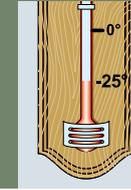
Dans un monde en perpétuelle évolution technologique, l'électronique est de plus en plus présente dans l'environnement quotidien, provoquant de ce fait des niveaux de perturbations inquiétants sur les réseaux électriques. Certes le législateur impose aujourd'hui des règles limitant les perturbations sur les installations électriques, mais de nombreux produits de faible puissance échappent à ces règles et sont de plus en plus utilisés (éclairage basse consommation, variateurs de lumière, petite électronique...).

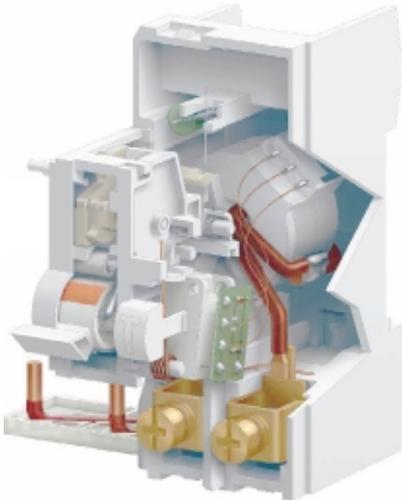
Le Dispositif Différentiel Résiduel joue un rôle de plus en plus important dans la sécurité électrique, sécurité des personnes et sécurité des biens. Tous les pays industrialisés utilisent les DDR dans le logement, le tertiaire ou l'industrie, avec des schémas de liaisons à la terre différents.

Les DDR actuels répondent tous aux normes de construction. Leur technologie continue de progresser en terme de fiabilité et de tenue aux perturbations rencontrées sur les installations électriques. Schneider Electric, leader mondial de l'appareillage électrique basse tension, se doit de faire évoluer ses produits et propose ainsi une gamme de DDR complète, à haut niveau d'immunité, pour toutes les applications (pages 10 et 11).

Une gamme complète pour toutes les applications

	Appareil	Type	Calibre (A)	Sensibilité $I_{\Delta n}$ (mA)		
				Instantané	Sélectif S	Réglable
	Disjoncteur différentiel de branchement (Tarif bleu)	DB90 DB90 S	10 à 90 10 à 90	500	500	
	Interrupteur différentiel	ID'Clic (1)	25 à 63	30, 300		
		ID	25 à 100	10, 30, 100, 300	300	
	Disjoncteur différentiel	Déclit (1) vigi	2 à 32	30		
		DPN vigi	1 à 40	30, 300		
		DPN N vigi	1 à 40	30, 300		
	Disjoncteur et Bloc adaptable	C60a, N, H, L + vigi	0,5 à 63	10, 30, 100, 300	300, 1A	
		C120N, H + vigi	50 à 125	30, 300	300, 1A	
	Disjoncteur ou Interrupteur et Bloc adaptable	NG125 N, NA + vigi	10 à 125	30	300, 500, 1A	300, 500, 1A, 3A Retard : 0-60-150 ms
		NG125 L + vigi	10 à 63	30, 300	300, 1A	300, 500, 1A, 3A Retard : 0-60-150 ms
	Disjoncteur de branchement (Tarif jaune)	NS100/160/250 A, B + vigi MH	40 à 250			30, 300, 1A, 3A, 10A Retard : 0-60-150-310 ms
		NS400N + vigi MB				300, 1A, 3A, 10A, 30A Retard : 0-60-150-310 ms
	Disjoncteur ou Interrupteur et Bloc adaptable	NSA + vigi	63 à 160			30, 300, 1A, 3A Retard : 0-60-150 ms
		NS100/160 N, H, L + vigi MH NS250 N, H, L + vigi MB	16 à 160 40 à 250			30, 300, 1A, 3A, 10A Retard : 0-60-150 ms 30, 300, 1A, 3A, 10A Retard : 0-60-150-310 ms
	Disjoncteur avec relais différentiel à tore séparé	NS, CM, Masterpact + Vigirex :				
		RH10 A	10 à 6 300			30 ou 300
		RH10 AP	10 à 6 300			300 ou 1A
		RH320 A/AP	16 à 6 300			30 à 250A
		RH328 A/AP/AF	16 à 6 300			30 à 250A Retard : 0 à 1 s
		RHU	16 à 6 300			30 à 30A
RMH	16 à 6 300			Mesure + signalisation		

Incendie	Maintenance préventive	Réseaux perturbés					Basses températures -25 °C
		Instrumentation	Foudre	Fluo à ballast électronique	Informatique	Variateur de vitesse	
							
			DB90 S				
				Si	Si		Si
			Si	Si	Si		
		Si	Si	Si	Si		
		Si	Si	Si	Si		
		Si	Si	Si	Si	Si	Si
		Si	Si	Si	Si	Si	Si
Préalarme	Préalarme 10 à 50 % IΔn	■	■	■	■	■	■
Préalarme	Préalarme 10 à 50 % IΔn	■	■	■	■	■	■
		■	■	■	■	■	■
		■	■	■	■	■	■
		■	■	■	■	■	■
		■	■	■	■	■	■
		■	■	■	■	■	■
	Préalarme IΔn/2	■	■	■	■	■	■
		■	■	■	■	■	■
		■	■	■	■	RH 328AF spécial	■
Préalarme	Préalarme IΔn/2	■	■	■	■	■	■
	Mesure + signalisation	■	■	■	■	■	■



Bibliographie

Cahiers techniques Schneider Electric :

- CT 114 :Les dispositifs différentiels résiduels en basse tension
- CT 141 :Les perturbations électriques en basse tension
- CT 152 :Perturbations harmoniques dans les réseaux pollués, et leur traitement
- CT 172 :Les schémas de liaisons à la terre en basse tension
- CT 187 :Coexistence courants forts courants faibles

Normes produits :

- CEI 60479 :Guide des effets d'un courant électrique à travers le corps humain
- CEI 61008, NF C 61-150 et 61-151 :Interrupteurs automatiques à courant différentiel résiduel pour usages domestiques et analogues
- UTE C 60-130 :Dispositifs de protection à courant différentiel résiduel
- NF C 61-420 :Petits disjoncteurs différentiels
- NF C 62-411 :Matériels de branchement et analogues, disjoncteurs différentiels pour tableaux de contrôle des installations de première catégorie

Normes installations :

- CEI 60364, NF C 15-100 :Installations électriques à basse tension

Autres publications :

- Guide de l'installation électrique Basse Tension, Editions CITEF

Les textes et les illustrations de ce guide sont disponibles dans la rubrique **L'enseignement technique** à partir du site <http://www.schneider-electric.fr>, rubrique **Schneider en France**, puis **L'enseignement technique**.

Ce guide technique a été réalisé sous la direction de Patrick Andrieux, avec la collaboration de Denis Avons-Bariot, Thierry Creton, Bernard Deshière, Loup Girier, Serge Guillaudin et Bernard Lacroix.