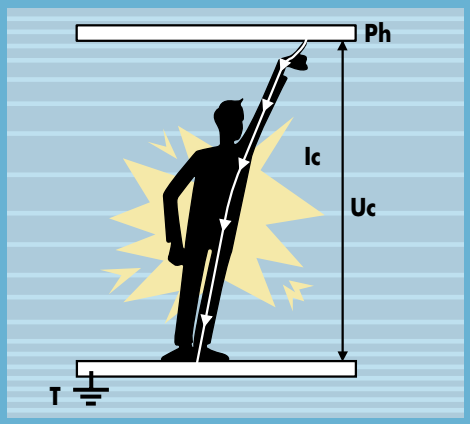
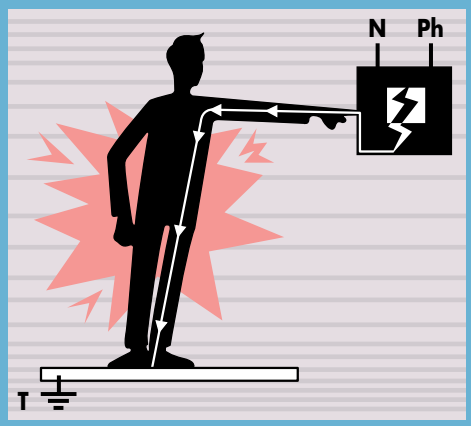
CAHIER TECHNIQUE

La nature des risques et leurs conséquences

La gravité des effets du courant sur le corps humain est principalement fonction de son intensité et de sa durée de passage.



Contact direct



Contact indirect

Le courant électrique agit sur le corps humain.

Lorsqu'il est soumis à une tension, celui-ci réagit comme un récepteur classique possédant une résistance interne donnée.

Le courant électrique qui le parcourt engendre alors trois risques graves :

- Le blocage musculaire.
  C'est la tétanisation : le courant maintient contractés les muscles traversés. Au niveau de la cage thoracique, le phénomène peut entraîner un blocage respiratoire.
- La fibrillation ventriculaire.
  L'action du courant désorganise complètement le rythme cardiaque.
- Les effets thermiques.
  Ils provoquent des lésions tissulaires plus ou moins graves, jusqu'à des brûlures profondes en fonction de l'importance du courant.

Ces risques dépendent de deux facteurs :

- Le temps de passage du courant à travers le corps.
- L'intensité du courant.

Ces deux facteurs sont indépendants l'un de l'autre. Le degré de gravité du risque sera plus ou moins important en fonction de la valeur de chaque facteur.

En pratique, on définit l'intensité du courant à partir d'une tension, dite de sécurité, normalisée à 50 V.

Elle tient compte du courant maximum que peut supporter un être humain dont la résistance électrique interne est minimum dans des conditions déterminées.

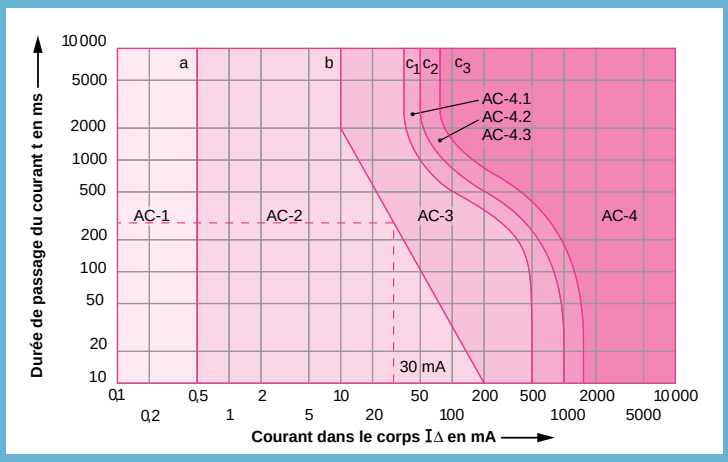
Elle tient compte aussi de la durée maximale du temps de passage du courant admissible sans effet physiopathologique dangereux.

La NF C 15-100 impose dans une installation des dispositifs de protection qui vont limiter ces risques. Ils s'appuient sur les tableaux consignés dans la norme IEC 60479.1 qui déterminent le comportement du corps humain en fonction de paramètres précis : tension, intensité, temps, environnement (sec, mouillé, etc.), et résistance du corps humain.

Tension de contact Uc (V)	Impédence électrique Zn (ohms)	Courant passant par le corps humain In (mA)	Temps de passage maximal Tn (s)
50	1725	29	≥ 5
75	1625	46	0,60
100	1600	62	0,40
150	1550	97	0,28
230	**1500**	**153**	**0,17**
300	1480	203	0,12
400	1450	276	0,07
500	1430	350	0,04

Quels temps de coupure pour quelles tensions de contact ?

Exemple : sous une tension de 230 V, le contact avec un conducteur peut produire un courant de 153 mA dans le corps humain. Ce courant doit être coupé en moins de 0.17 secondes pour éviter tout risque.



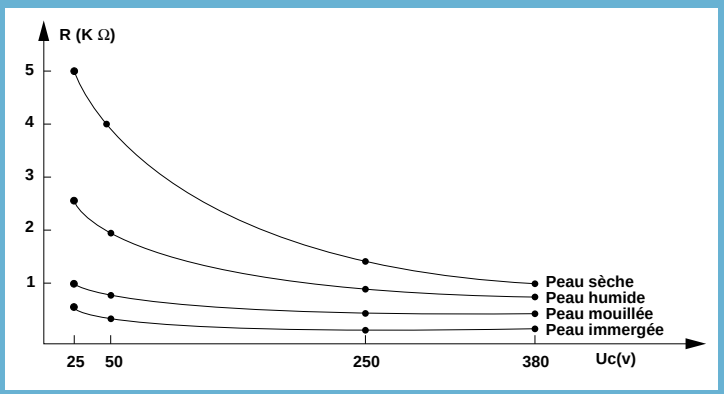
Courant circulant dans le corps, temps de passage du courant

Ces courbes donnent les différentes zones des effets du courant alternatif sur les personnes. Elles sont issues de la IEC 60 479 et déterminent 4 zones principales de risques. Exemple : à 30mA, il n'y a habituellement pas de danger jusqu'à 300ms.

Désignation de la zone	Effets physiologiques
zone AC-1	habituellement aucune réaction.
zone AC-2	habituellement, aucun effet physiologique dangereux.
zone AC-3	habituellement aucun dommage organique ; probabilité de contractions musculaires et de difficultés de respiration pour des durées de passage du courant supérieures à 2 s. Des perturbations réversibles dans la formation et la propagation des impulsions dans le coeur, y compris la fibrillation ventriculaire et des arrêts temporaires du coeur sans fibrillation ventriculaire, augmentant avec l'intensité du courant et le temps.
zone AC-4	Augmentant avec l'intensité et le temps, des effets pathophysiologiques tels qu'arrêt du coeur, arrêt de la respiration, brûlures graves peuvent se produire en complément avec les effets de la zone 3.
zone AC-4.1	Probabilité de fibrillation ventriculaire jusqu'à environ 5 % C1- C2
zone AC-4.2	Probabilité de fibrillation ventriculaire jusqu'à environ 50 % C2- C3
zone AC-4.3	Probabilité de fibrillation ventriculaire supérieure à 50 %.

* Pour des durées de passage de courant inférieures à 10 ms, la limite du courant traversant le corps pour la ligne b reste constante et égale à 200 mA.

Les quatre zones principales de risques



Courbe de variation R = f (Uc, environnement)

Cette courbe donne les variations de la résistance du corps humain en fonction de la tension de contact et de l'état de la peau.

CAHIER TECHNIQUE

Les contacts directs

L'origine des contacts directs est liée à l'homme.

Il s'agit de la mise en contact d'une personne avec une partie électrique d'équipement ou d'installation sous tension.

C'est par exemple quelqu'un qui touche un câble sous tension malencontreusement, un enfant qui introduit un objet métallique dans une prise de courant, le contact avec un prolongateur mâle / mâle ou un cordon d'essais non protégés.

La protection des personnes contre les contacts directs suppose la mise en œuvre de moyens complémentaires, comme l'utilisation de la TBTS (Très Basse Tension de Sécurité), les mesures d'isolation (barrières, enveloppes, coffrets fermés, prises éclips) et les dispositifs différentiels 10 ou 30 mA.

Rappelons que la protection différentielle est obligatoire pour toutes les prises de courant inférieures ou égales à 32 A, soit en tête de ligne, soit sur le socle, pour tous les circuits des salles d'eau, ainsi que sur les quais des ports de plaisance, sur les installations temporaires, les chantiers, les piscines, les campings, les installations foraines, les établissements agricoles et horticoles.

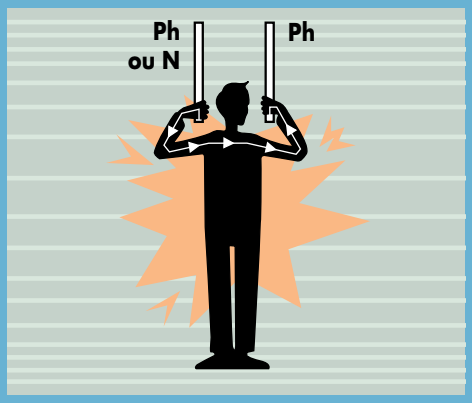
Elle est fortement conseillée dans les autres cas.

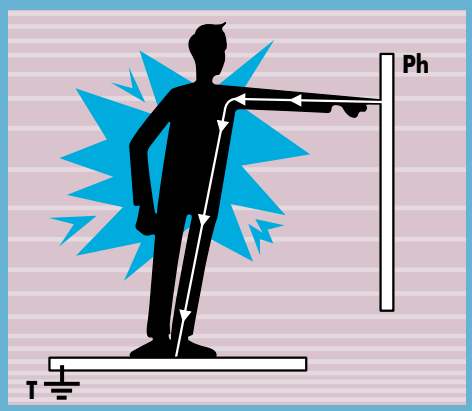
Quelle est l'incidence des "schémas de liaisons à la Terre" dit "régimes de neutre" ?

Quel que soit le régime du neutre, en l'absence d'autres dispositions particulières telles que transformateur d'isolement ou installation réalisée totalement en classe II, les dispositifs différentiels 30 mA sont seuls en mesure d'assurer la protection en cas de contacts directs.

Ils sont d'ailleurs rendus obligatoires dans la plupart des pays sur les circuits où le risque de contacts directs est élevé, notamment au niveau des prises de courant, car les appareils connectés sont manipulés par des non-professionnels et non contrôlés.

Exemple : un individu branche une perceuse raccordée par un fil partiellement dénudé sur une prise de courant de 230 V, il touche malencontreusement, directement une partie nue sous tension et prend un "choc électrique".





Contacts directs

Dérogations

L'arrêté ministériel du 6/01/92 admet des dérogations au paragraphe 532.2.6.1 de la norme NF C 15-100, relatif à l'imposition de protections différentielles 30 mA sur les postes informatiques, dans le cas de matériel de classe I, fixe ou semi-fixe, installés sur des emplacements autres que ceux visés au II de l'article 8 du décret du 14/11/88, et lorsque la coupure non provoquée par un défaut d'isolement de l'alimentation de ces matériels est incompatible avec les exigences de continuités de service.

Il faut à ce moment là que :

- le chef d'établissement s'engage, par écrit, à ce qu'il ne soit jamais connecté, sur ces prises non protégées, d'autres appareils que ceux spécifiés.
- chacune de ces prises dispose d'un marquage distinctif.

NB : ces cas dérogatoires restent exceptionnels.

legrand

Schéma TT

L'impédance de la boucle de défaut est importante : celle de l'homme (environ 2000 Ω) s'ajoute à celle de la prise de terre (50 Ω). D'où l'équation simplifiée :
230V/2000 Ω + 50 Ω = 112 mA.

Un interrupteur différentiel de 300 mA serait inopérant, pas plus qu'un disjoncteur 16 A protégeant la ligne contre les surcharges et courts-circuits, puisqu'ils ne pourraient détecter les 112 mA de courant de défaut. Il faut donc installer un différentiel de 30 mA.

La personne subira un choc électrique, mais sans risque physiopathologique dangereux : dans la situation décrite, la coupure du circuit électrique intervient en moins de 50 ms

Schéma IT

L'impédance de la boucle de défaut est très élevée. Aux impédances précédentes, s'en rajoute une en série de 2000 Ω par exemple.
230V/2000 Ω + 2000 Ω + 50 Ω = 57 mA.

Même conclusion que précédemment.

Schéma TN

Le raisonnement et les calculs sont identiques :
i = 230V/2000 Ω + 50 Ω = 112 mA

La solution reste toujours l'appareil différentiel de 30 mA.

●

Comme on peut le constater, les dispositifs différentiels constituent une solution curative, et non préventive, aux contacts directs des personnes avec le courant électrique.

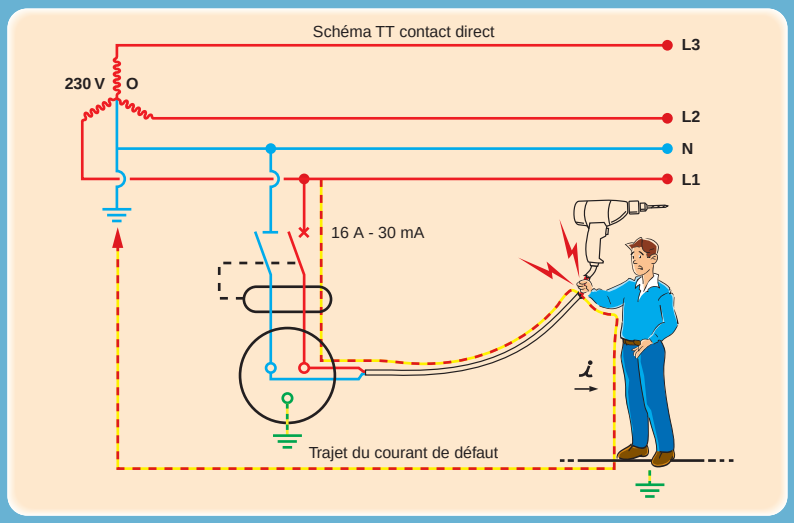


Schéma TT

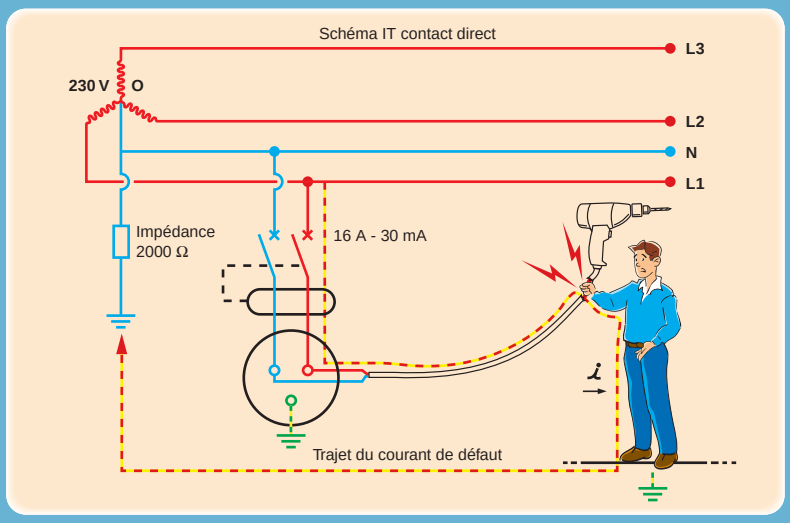


Schéma IT

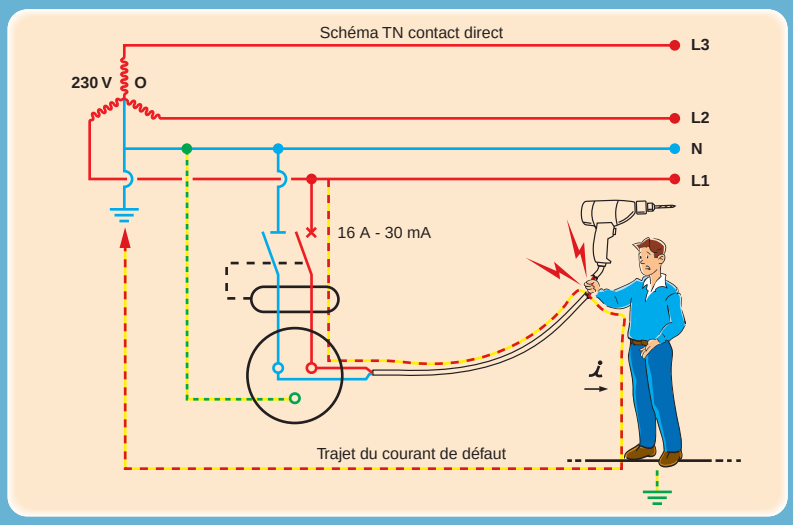


Schéma TN

CAHIER TECHNIQUE

Les contacts indirects

L'origine des contacts indirects est indépendante de la personne. Elle est liée à un défaut interne du matériel.

Qu'est ce qu'un contact indirect ? Une personne touche une masse métallique mise accidentellement sous tension. Ce type de contact est très dangereux du fait, contrairement au contact direct, qu'il est latent. L'exemple le plus fréquent est illustré par les défauts d'isolement d'appareils ou de machines électriques.

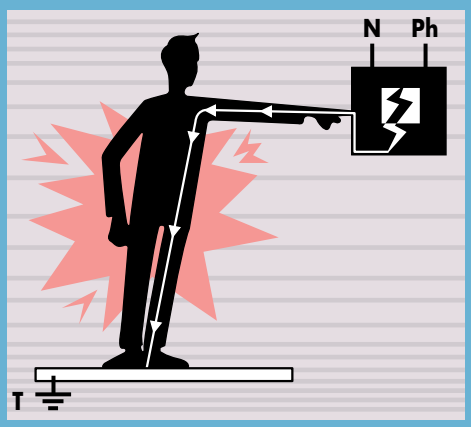
Dès que le courant de défaut provoque une élévation du potentiel de la masse supérieure à 50 V, la personne est en danger d'électrocution.

Il existe plusieurs moyens de protection contre les contacts indirects, comme le recours à la classe II, indépendante des régimes de neutre et exigée par la norme NF C 15-100.

Les dispositifs de coupure automatique de l'alimentation sont, eux, dépendants des régimes de neutre.

Au préalable, rappelons que le principe repose sur le fait que le courant de défaut doit être évacué par la terre, ce qui le rend aisément détectable.

Par conséquent, il est impératif d'installer une terre de faible impédance et de relier toutes les masses à cette terre.



Contact indirect

Quelle est l'incidence des régimes de neutre ?

En régime de Neutre TT

Le courant de défaut se referme par la boucle comprenant les prises de terre du neutre et des masses.

La protection doit être réalisée par un différentiel dont la sensibilité (IΔn) est déterminée par la résistance de la prise de terre des masses (Rm) et de la tension limite de sécurité (UL).

Le seuil de sensibilité IΔn de ce dispositif est tel que : IΔn < UL / Rm.

Dans la pratique, on utilise des différentiels de 100, 300, voire 500 mA associés à des terres inférieures à 100Ω dans des locaux secs. Lorsque la terre est mauvaise (supérieure à 100 Ω), et dans les locaux humides (une salle de bains par exemple), la sensibilité de 30 mA est nécessaire.

En régime de Neutre IT

Le courant de premier défaut d'isolement est limité, par l'impédance de liaison à la terre du point milieu du transformateur (2000Ω),

Sensibilité IΔn en fonction de la résistance Rm de la terre

I Δ n différentiel	R Terre (Ω) UL : 50V
≤ 30 mA	> 500
100 mA	500
300 mA	167
500 mA	100
1 A	50
3 A	17

legrand

et à une valeur telle qu'il n'en résulte pas de tensions de contact dangereuses.
i≈230V/2000Ω ≈100mA
(équation simplifiée)

La protection ne requiert pas de coupure, ce qui permet de maintenir la continuité de service.

Au second défaut d'isolement, la coupure automatique doit intervenir.

Le défaut phase/masse dégénère en court-circuit équivalent à un défaut phase/phase. Le dispositif de protection contre les courts -circuits (disjoncteur) va donc le repérer et l'éliminer instantanément.

La protection contre les contacts indirects est assurée par les disjoncteurs en régime IT. Les différentiels sont inutiles (N.B. : le pôle de neutre doit aussi être protégé).

En régime de neutre TN

La particularité du régime TN est de disposer d'un conducteur neutre et d'un conducteur de terre distribués. En TNC, ces deux conducteurs sont confondus (P.E.N.), en TNS ils sont séparés P.E. et Neutre.

Le courant de défaut se referme alors par le conducteur neutre et devient un courant de court-circuit phase/neutre.

La protection est assurée par le disjoncteur et rend inutile un dispositif différentiel. En régime de neutre TN, il convient toutefois de s'assurer de la bonne coordination entre les calibres et les longueurs de ligne. Si ces dernières sont trop importantes, l'installation d'un dispositif de protection différentiel est nécessaire.

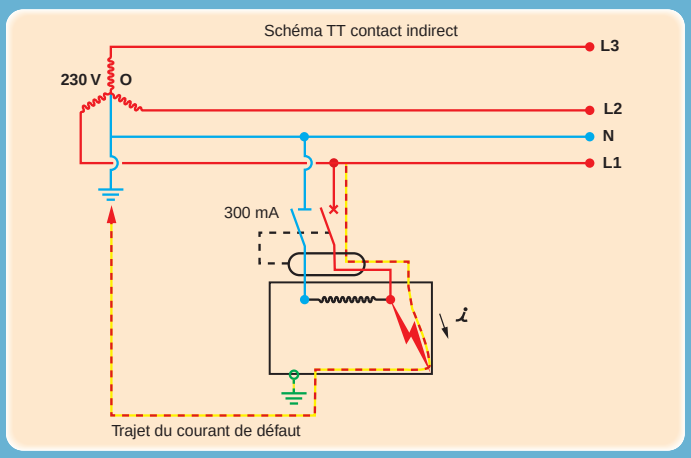


Schéma TT

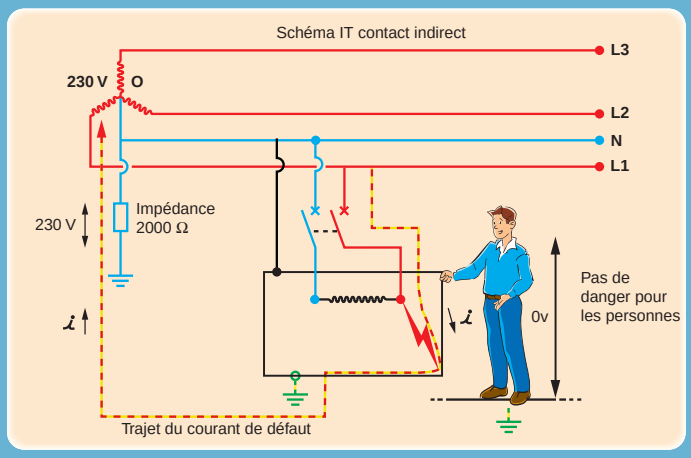


Schéma IT avec un 1er défaut d'isolement

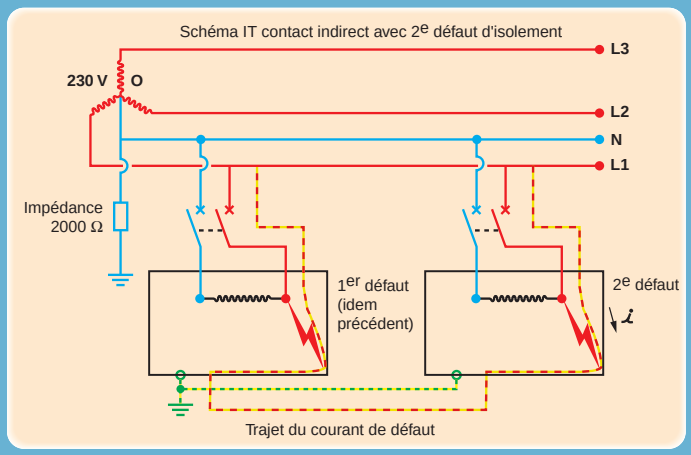


Schéma IT avec un 2ème défaut d'isolement

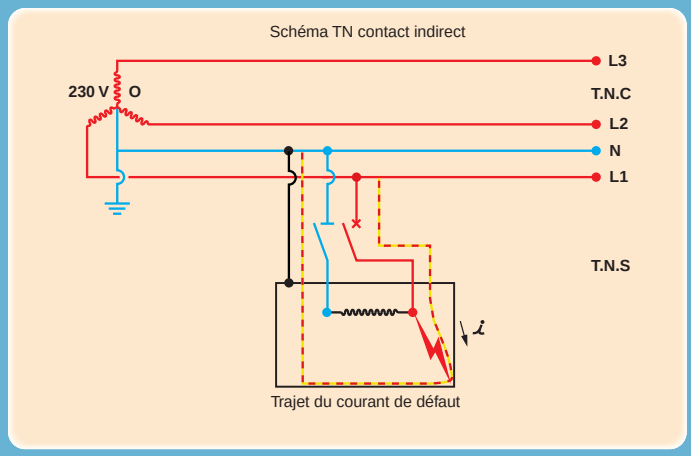


Schéma TN avec un 2ème défaut d'isolement

CAHIER TECHNIQUE

Protection différentielle Principes de fonctionnement

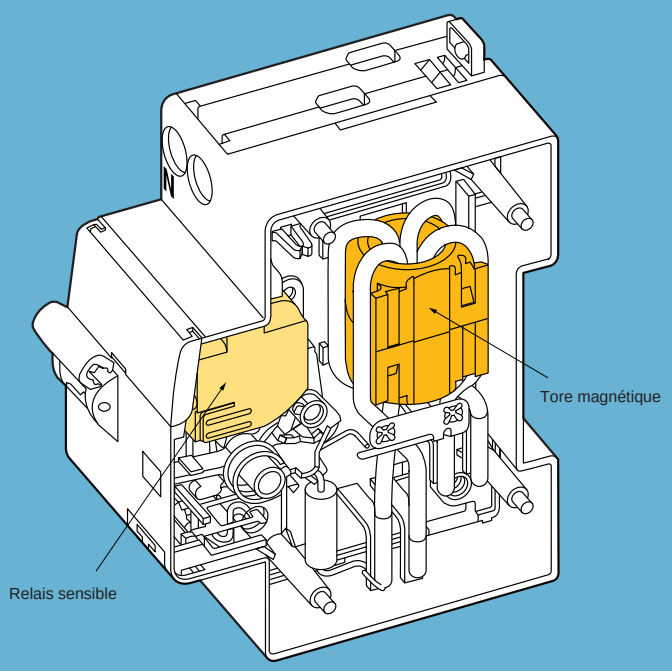
Un différentiel mesure en permanence la différence entre la valeur du courant d'entrée et de sortie. Si cette valeur n'est pas nulle, cela signifie qu'il y a une fuite. Lorsque la valeur de cette fuite atteint le niveau de réglage du différentiel, il déclenche et coupe le circuit.

La protection différentielle fait appel à un dispositif similaire à un transformateur, le tore.

Ce dispositif magnétique est conçu pour vérifier en permanence que la somme vectorielle des courants parcourant le circuit à protéger est nulle.

En cas de courant de fuite, donc de situation d'électrisation, d'électrocution ou de défaut d'isolation, cette somme vectorielle cesse d'être nulle. Au-delà d'un certain seuil IΔn, le différentiel interrompt aussitôt le courant. Ceci grâce à un relais sensible qui mémorise l'information (seuil prédéterminé) et donne l'ordre d'ouverture des contacts. Cet ordre est exécuté par la mécanique du différentiel.

La fonction différentielle peut être associée soit à un interrupteur soit à un disjoncteur.



Disjoncteur phase + neutre différentiel

legrand

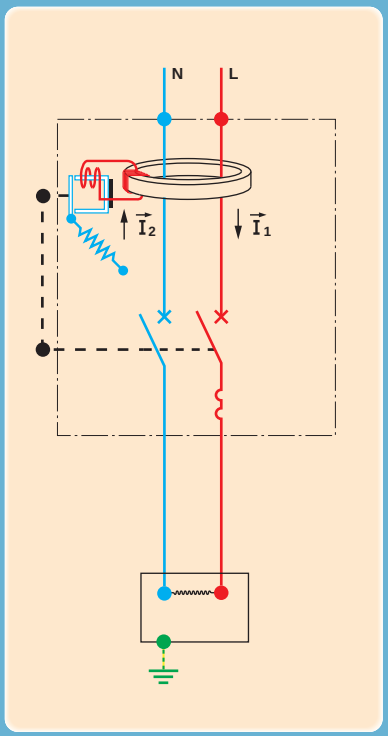


Schéma 1
En l'absence de défaut

$\vec{I}_2 = -\vec{I}_1$

$\vec{I}_1 + \vec{I}_2 = 0$

La valeur vectorielle du courant d'entrée (phase) est égale à celle du courant de sortie (neutre). Aucun flux magnétique n'est créé au niveau du tore, donc aucun courant. La bobine du relais sensible n'est pas excitée. Les contacts restent fermés. L'équipement fonctionne normalement.

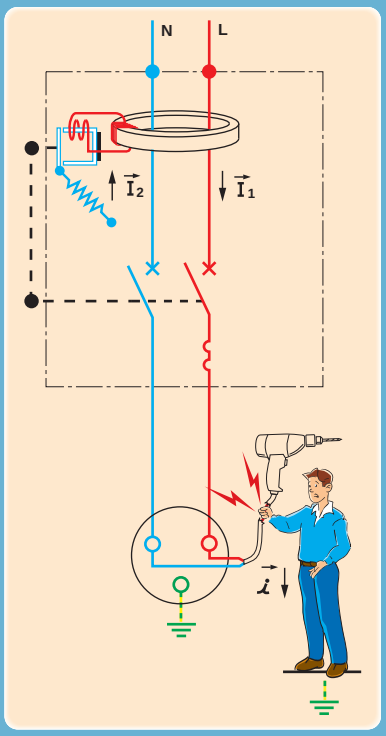


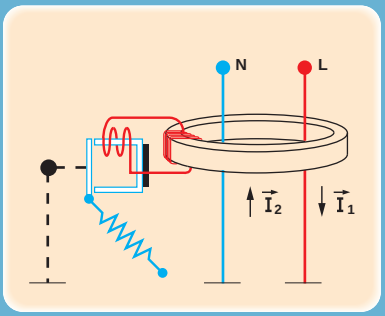
Schéma 2
En présence d'un défaut

$\vec{I}_2 = -(\vec{I}_1 - \vec{i})$

$\vec{I}_1 + \vec{I}_2 = \vec{I}_1 - \vec{I}_1 + \vec{i} = \vec{i}$

Soit un courant I en entrée (phase). Il y a courant de fuite, d'une valeur vectorielle $\vec{i}$. En sortie, le courant est mesuré $\vec{I} - \vec{i}$.

Cette différence de courant $\vec{I} - (\vec{I} - \vec{i})$ provoque une analyse vectorielle par le tore, par création d'un flux magnétique qui lui-même génère un courant qui va exciter la bobine du relais sensible, qui agit sur la mécanique et ouvre les contacts du dispositif de protection.



Le relais sensible

L'ensemble est constitué d'une bobine aimantée qui maintient, en l'absence de courant de défaut, une palette en position fermée. Cette palette est fixée sur un axe. Elle subit l'effort d'un ressort.

En l'absence d'excitation de la bobine par un courant, l'aimant permanent oppose un effort de fermeture de la palette supérieur à l'effort du ressort.

En cas d'excitation de la bobine (schéma 2) $\vec{I}_1 + \vec{I}_2$ non nul et supérieur au seuil prédéterminé, le flux magnétique induit rend l'effort de fermeture de la palette quasi nul. L'effort généré par le ressort prend alors le dessus : la palette s'ouvre et un percuteur déverrouille la mécanique qui ouvre les contacts du dispositif de protection. Le circuit est ouvert.

CAHIER TECHNIQUE

La sélectivité différentielle

Le but de la sélectivité différentielle est de ne couper, en cas de défaut à la terre, que le circuit sur lequel se situe ce défaut et d'éviter la mise hors circuit de toute l'installation.

Dans les cas très fréquents de dispositifs différentiels en cascade avec circuits terminaux protégés en 30 mA, il est fortement conseillé de placer en amont de ceux-ci des dispositifs différentiels à déclenchement très légèrement retardés.

Seul le dispositif le plus en aval se déclenche. La continuité du service est assurée. La protection est plus fine, car le risque est sectorisé. Le champ d'intervention pour le dépannage est limité et connu.

On préservera ainsi la continuité de service sur tous les circuits sains en cas de défaut sur l'un des circuits terminaux, quel que soit le courant de défaut.

Les paramètres concernés

Deux paramètres sont à prendre en compte : la sensibilité et le temps de déclenchement.

Dans la pratique, le dispositif amont devra avoir une sensibilité au moins 2 fois moindre et un temps de coupure plus long que le dispositif aval.

Exemple pour un courant de défaut 1A :

- dispositif aval : 30 mA Instantané (déclenchement en 20 ms)
- dispositif amont : 300 mA sélectif (déclenchement en 80 ms)

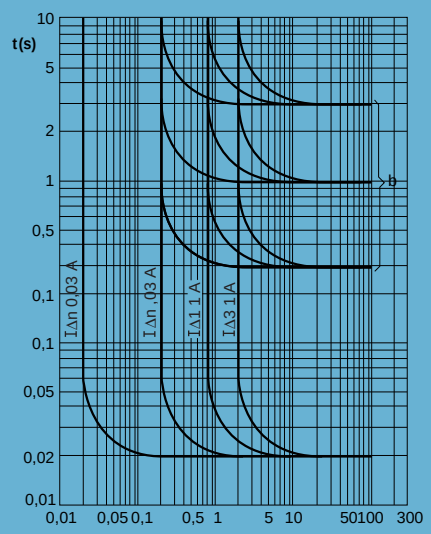
De fait, pour que la sélectivité soit totalement assurée entre un différentiel amont et un différentiel aval, les deux conditions suivantes doivent être réunies :

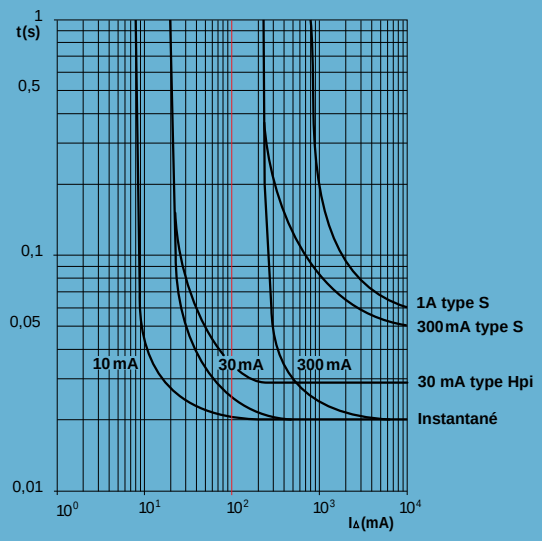
- IΔn de A ≥ 2 x IΔn de B, et
- Temps de déclenchement A > temps de déclenchement B

Attention ! Un retard supérieur à une seconde n'est pas autorisé.

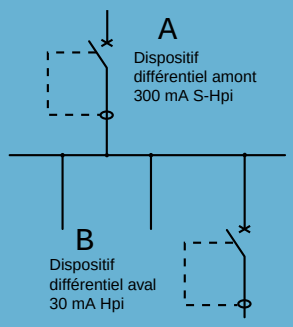
Les courbes de fonctionnement différentiel

Ce sont les courbes qui donnent les temps de déclenchement en fonction de l'intensité du courant de défaut. Elles permettent de vérifier que le temps de réaction du dispositif différentiel amont est supérieur au temps d'ouverture du dispositif différentiel aval.

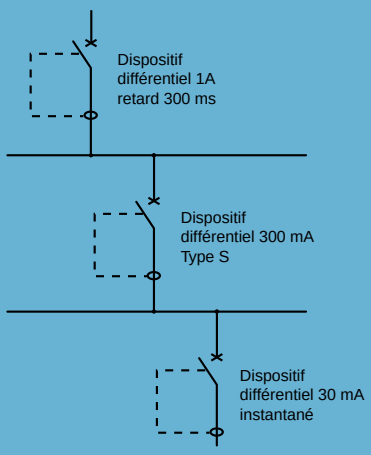




Courbes de fonctionnement différentiel DPX et DX. Pour avoir une bonne sélectivité différentielle, les courbes des dispositifs amont et aval ne doivent jamais se couper.



Exemple de sélectivité à 2 niveaux



Exemple de sélectivité à 3 niveaux

legrand

Comment choisir son dispositif différentiel ?

Il faut d'abord déterminer le besoin, à deux niveaux :
- **le besoin de protection contre les contacts directs ou indirects,**
- **le besoin d'assurer ou non une protection contre les surcharges ou courts-circuits.**

Il existe 2 types de différentiels : type AC et type A. Ils peuvent être déclinés en version "S" (sélectif), H.P.I. (Haute Protection Immunitaire, voire Φ. HPI), ou instantanée.

Ils sont conformes aux normes internationales CEI 61008 et CEI 61009 ainsi qu'aux normes européennes EN 61008 et EN 61009.

Type AC

Il est sensible aux courants alternatifs résiduels. On l'utilise dans les cas "standards".

Type A

Il est sensible aux courants résiduels alternatifs et aux courants résiduels à composante continue. On l'utilise dans les cas particuliers, par exemple si les courants de défaut sont susceptibles de ne pas être purement sinusoïdaux (ponts redresseurs, etc.)

Version S (type AC ou A)

Le déclenchement est retardé pour permettre la sélectivité avec d'autres différentiels en aval.

DX réf. 07863

DXHpi réf. 08567

NOUVEAU !
Version H.P.I.

Elle est recommandée pour les installations avec ordinateurs, imprimantes et autres appareils informatiques.

Le nouveau différentiel Hpi, grâce à son immunité vis-à-vis des phénomènes transitoires, est particulièrement adapté aux installations alimentant des ordinateurs.

Le matériel informatique crée un courant de fuite permanent sur le conducteur de protection. Une toute petite surintensité transitoire (quelques mA) aura pour conséquence de faire déclencher intempestivement les différentiels.

Les Hpi permettent de ne pas déclencher dans ce cas.

Cette version évite de multiplier les divisions de circuits au sein d'une installation, et donc réduit le nombre de protections différentielles pour un certain nombre d'applications. Résultats : un coût inférieur d'installation, de matériels, et une continuité de service optimale des protections différentielles.

En conclusion, le seul moyen d'éviter les déclenchements en cas de courant transitoire d'intensité supérieure au seuil de déclenchement consiste à utiliser les différentiels immunisés Hpi. De plus la sécurité grâce au nouveau différentiel Hpi est augmentée car déclinée en type A et fonctionne à des températures jusqu'à -25°c.

- Si nous sommes à un niveau de courant de fuite permanent important, mais inférieur au seuil de déclenchement (par exemple 30% du seuil), et que de petites

CAHIER TECHNIQUE

surintensités (par exemple 8 mA) surviennent, deux solutions existent :
- subdiviser les circuits,
- utiliser un Hpi.

- Si l'intensité du courant de fuite transitoire est suffisante pour faire déclencher à elle seule le différentiel (elle peut être de 50 A), alors le Hpi est l'unique solution.

- Enfin, si les courants de fuite permanents sont suffisants à eux seuls pour faire déclencher le différentiel (par exemple 20 mA), il faut diviser les circuits, et utiliser des versions Hpi pour ne pas multiplier les subdivisions (cette fois-ci pour éviter les déclenchements intempestifs dus aux phénomènes transitoires).

A noter que l'utilisation du Hpi 30mA évite le recours à la dérogation (voir p. 5) et n'engage plus la responsabilité du chef de l'établissement.

Disjoncteur différentiel ou interrupteur différentiel ?

Vous choisirez un interrupteur différentiel si vous n'avez pas besoin d'assurer une protection contre les surcharges et courts-circuits. Attention cependant : un interrupteur différentiel doit impérativement être associé à un dispositif de protection des lignes : disjoncteur ou coupe-circuit. Vous choisirez un disjoncteur si ces protections ne sont pas assurées.

L'interrupteur différentiel

Il comprend 2 fonctions : détection du courant de défaut, mesure et coupure. En outre, cet appareil peut assurer le sectionnement d'une installation.L'interrupteur différentiel se réfère aux normes IEC 61 008 et EN 61 008.

Le disjoncteur différentiel

Il comprend 3 fonctions : détection du courant de défaut, mesure et coupure, protection contre les surcharges et les courts-circuits. Il assure aussi le sectionnement d'une installation.

Le disjoncteur différentiel se réfère aux normes IEC 61 009-1 et EN 61 009.

Il existe sous la forme monobloc, et sous la forme bloc différentiel (ajouté au moment de l'installation).

La fonction "test"

Un différentiel est un dispositif de sécurité. A ce titre, la fonction "test" lui est imposée par les normes. Tous les appareils Legrand en sont équipés.

NOUVEAUX PRODUITS

Disjoncteurs différentiels monoblocs tétrapolaires.
4 modules seulement au lieu de 7 jusqu'à 32A
Encombrement réduit.
Ils facilitent l'organisation et le câblage des tableaux sans modification de l'enveloppe.

En rénovation il peut remplacer :
- Un interrupteur différentiel tetrapolaire (4 modules).
- Un disjoncteur tétrapolaire (4 modules)
ou un interrupteur/sectionneur tétrapolaire (4 modules).

L'organisation à la rangée

Interrupteur différentiel à raccordement direct par peigne en amont.
L'ensemble monobloc diminue les risques de court-circuit et le montage est plus rapide, plus propre et plus économique.