

<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>2</b>
<b>2. GÉNÉRALITÉS.....</b>	<b>2</b>
2.1. ORIGINE DES ACCIDENTS.....	2
2.2. RISQUES PAR RAPPORT AUX UTILISATEURS.....	2
2.3. NORMES RÉGISSANT LA PROTECTION DES PERSONNES.....	2
2.4. COURBES DE SÉCURITÉ, TENSIONS DE SÉCURITÉ.....	3
<b>3. DÉFINITIONS.....</b>	<b>4</b>
3.1. IDENTIFICATION, CODIFICATION DES RÉGIMES DE NEUTRE.....	4
<b>4. LA PROTECTION DIFFÉRENTIELLE.....</b>	<b>4</b>
4.1. DÉFINITION.....	4
4.2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT.....	5
4.3. CONDITIONS DE DÉCLENCHEMENT.....	5
4.4. CARACTÉRISTIQUES.....	5
4.5. TEST & CONTRÔLES DES INSTALLATIONS PROTÉGÉES PAR APPAREILS DIFFÉRENTIELS.....	6
<b>5. SÉLECTIVITÉ.....</b>	<b>6</b>
5.1. DÉFINITION :.....	6
5.2. SÉLECTIVITÉ VERTICALE.....	7
5.3. SÉLECTIVITÉ HORIZONTALE.....	7
5.4. SÉLECTIVITÉ CHRONOMÉTRIQUE :.....	7
5.5. SÉLECTIVITÉ AMPÈREMÉTRIQUE :.....	7
5.6. SÉLECTIVITÉ LOGIQUE :.....	8
<b>6. PRISE DE TERRE.....</b>	<b>9</b>
6.1. NATURE DES PRISES DE TERRE.....	10
6.2. NOTION DE RÉSISTIVITÉ DE TERRAIN.....	11
6.3. MESURE DE LA PRISE DE TERRE.....	11
<b>7. RÉGIME TT.....</b>	<b>11</b>
7.1. DÉFINITION.....	11
7.2. PRINCIPE DE LA PROTECTION.....	12
7.3. SCHÉMA DE PRINCIPE.....	12
7.4. APPAREILS À ASSOCIER.....	12
7.5. CALCUL D'UNE INSTALLATION : VÉRIFICATION DE LA PROTECTION POUR :.....	13
7.6. CONDITIONS D'UTILISATION ;.....	14
7.7. DOMAINE D'APPLICATION, EXEMPLES D'INSTALLATION.....	14
<b>8. RÉGIME IT.....</b>	<b>14</b>
8.1. DÉFINITION.....	15
8.2. PRINCIPE DE LA PROTECTION.....	15
8.3. SCHÉMAS DE PRINCIPE.....	16
8.4. APPAREILS À ASSOCIER :.....	16
8.5. ETUDE D'UN DÉFAUT SIMPLE :.....	17
8.6. ETUDE D'UN DÉFAUT DOUBLE :.....	17
8.7. DOMAINE D'APPLICATION.....	18
<b>9. RÉGIME TN.....</b>	<b>18</b>
9.1. DÉFINITION.....	18
9.2. PRINCIPE DE LA PROTECTION.....	19
9.3. SCHÉMAS DE PRINCIPE.....	19
9.4. APPAREILS À ASSOCIER.....	19
9.5. VÉRIFICATION DE LA PROTECTION.....	19
9.6. CONDITIONS D'UTILISATION.....	20
<b>10. UTILISATION DE LA TRÈS BASSE TENSION TBT.....</b>	<b>21</b>
<b>11. CHOIX D'UN SCHÉMA DE LIAISON À LA TERRE.....</b>	<b>21</b>
<b>12. LIENS UTILES.....</b>	<b>22</b>

## 1. Introduction

L'électricité est une forme d'énergie très répandue de nos jours ; devenue très familière, aussi bien dans les milieux industriels que domestiques, elle peut cependant dans certaines circonstances compromettre la sécurité des utilisateurs.

## 2. Généralités

### 2.1. Origine des accidents

Les accidents d'origine électrique peuvent avoir deux causes :

Causes humaines :

- Ignorance, ou incompétence des usagers de l'électricité,
- Faute de comportement, comme effectuer une intervention sous tension en négligeant les risques,
- Mauvais entretien ou modification d'une installation sans respecter les réglementations sur les installations électriques,
- Mauvaise utilisation, surexploitation d'une installation.

Causes matérielles :

- Installations vétustes (défaut d'isolement, qualité de prise de terre dégradée, ...)

L'électrisation conduit vers deux types de lésions :

Conséquences directes : brûlures internes, fibrillation, téτανisation des muscles, ...

Conséquences indirectes : chutes, brûlures externes dues à une élévation de température des parties actives, à des projections d'arcs électriques ou un incendie, explosion, ...



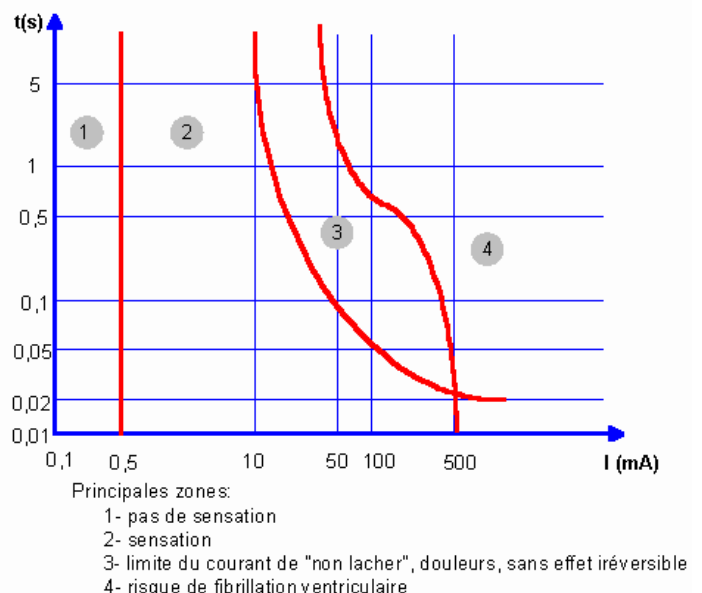
### 2.2. Risques par rapport aux utilisateurs

Le danger pour le corps humain est d'autant plus grand si :

- l'intensité passant dans le corps est grande,
- la durée de passage du courant est grande.

On met en évidence la relation entre la gravité des lésions, l'intensité et le temps dans le graphe ci-contre.

On retiendra que le courant électrique alternatif est dangereux à partir de 10 mA, et mortel à partir de 30 mA (pour une durée de plus de 5 s).



### 2.3. Normes régissant la protection des personnes

**NF C 15 100** : Installations électriques basse tension

NF : Distinction des produits fabriqués conformément aux normes françaises

C : Indice de Classe c Electrotechnique

15 : Indice de sous classe

100 : Numéro d'ordre de la norme

Autres normes en France :

**AFNOR** (Association Française de NORmalisation)

**UTE** (Union Technique d'Electricité)

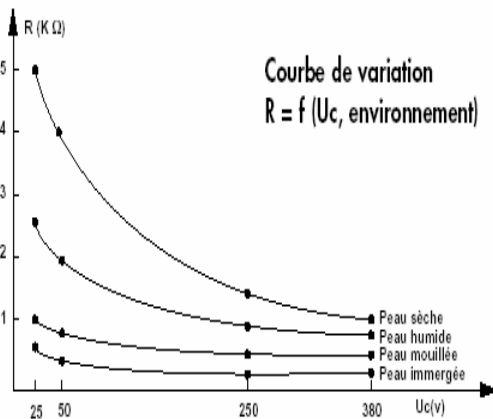
En Europe :

**CENELEC** (Comité Européen de Normalisation ELECtrique)

Dans le monde :

**CEI** (Commission Electrotechnique Internationale)

## 2.4. Courbes de sécurité, tensions de sécurité



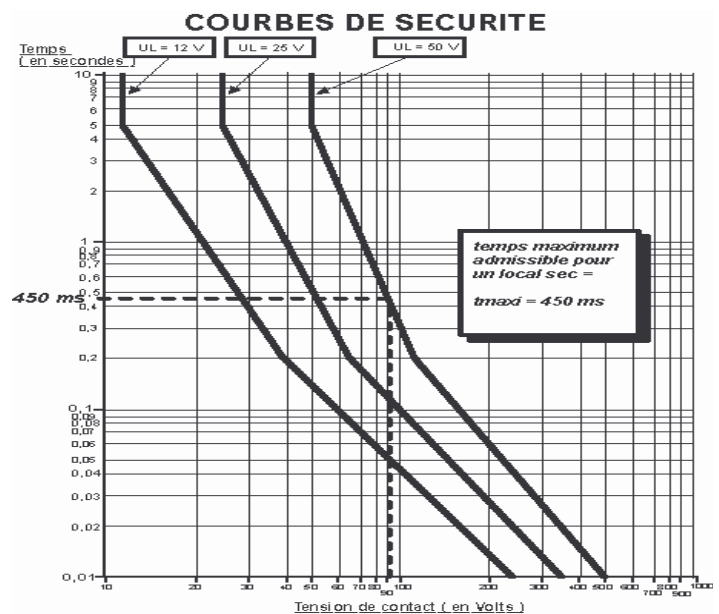
La résistance du corps humain évolue suivant beaucoup de paramètres (tension, conditions atmosphériques, anatomie, conditions physiques, etc.). Sa valeur peut être évaluée entre quelques kilo ohm et quelques mégohms

La caractéristique ci-contre donne les variations de cette résistance en fonction de la tension de contact, et de l'état de la peau.

Selon ces considérations, la norme définit une valeur limite de tension de contact à ne pas dépasser en cas de défaut d'isolement dans l'installation. Ces valeurs ont été déterminées de façon à ce que la sécurité des personnes soit vérifiée dans tous les cas.

Tension limite :	Locaux Secs	Locaux Humides	Immergés
- en AC	50 V	25 V	12 V
- En DC	120 V	60 V	30 V

De ce tableau, ainsi que du graphe  $t = f(I)$ , on déduit le graphe ci-contre, qui définit le temps maximum de déclenchement des appareils de protection, en fonction de la tension de contact, et de la tension limite de sécurité :



### 3. Définitions

Conducteurs actifs : conducteur normalement affecté à la transmission de l'énergie, tels que les conducteurs de phase ou de neutre (le PEN n'est pas un conducteur actif).

Conducteur de protection équipotentielle : conducteur destiné à mettre au même potentiel toutes les parties métalliques d'une installation (carcasses, structures, ...).

Neutre : conducteur actif relié directement ou indirectement à la terre.

Masses : partie métallique d'un matériel électrique susceptible d'être en contact avec une personne, et qui pourrait être accidentellement sous tension.

Prise de terre : ensemble des pièces conductrices enfoncées dans le sol et assurant une liaison électrique efficace avec la terre.

Contact direct : contact d'une personne avec une partie active du circuit (barre conductrice, borne de raccordement non protégée, ...)

Contact indirect : contact d'une personne avec une masse mise accidentellement sous tension suite à un défaut d'isolement

Défaut franc : conducteur actif mis accidentellement en contact direct, sans résistance de contact avec la masse métallique de l'appareil

Défaut non franc : conducteur actif mis accidentellement en contact indirect, avec résistance de contact avec la masse métallique de l'appareil

#### 3.1. Identification, codification des régimes de neutre

L'identification du régime de neutre se fait à partir de deux lettres :

- la première indique la position du neutre (T pour relié à la Terre, I pour Isolé ou Impédant par rapport à la terre)
- la seconde indique la position des masses (T pour reliées à la Terre, N pour reliées au Neutre)

Une troisième lettre peut compléter dans certains cas la désignation du régime de neutre.

### 4. La protection différentielle

#### 4.1. Définition

On appelle DDR (Dispositif Différentiel Résiduel) ou ELCB (Earth Leakage Circuit Breaker) tout appareil de protection « destiné à détecter un courant résiduel consécutif à la somme des courants vectoriels des conducteurs actifs ».

Ces appareils sont classifiés selon trois familles :

**Le relais différentiel** : il comporte simplement un détecteur de défaut et qui émet un signal. Il est associé mécaniquement ou électriquement à un disjoncteur ou un contacteur (Fig. 3).

La mesure du courant de fuite à la terre peut être réalisée par un tore séparé (Fig. 4).

**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 (Fig. 2).

**Le disjoncteur différentiel** : il comporte en plus de la fonction différentielle, un dispositif de protection contre les surcharges et les courts-circuits (Fig.1).



Fig 1



Fig 3



Fig 4



Fig 2

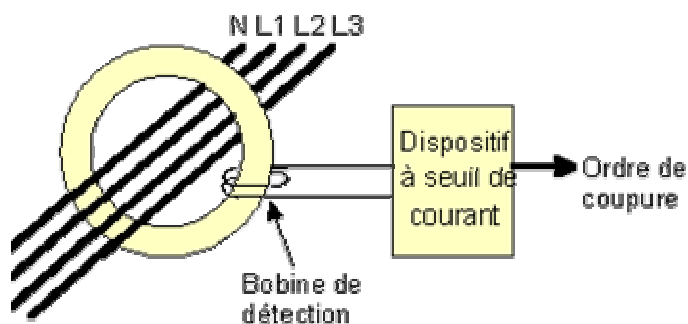
## 4.2. Principe de fonctionnement

Le DDR est conçu autour d'un transformateur d'intensité qui enserre les conducteurs actifs (phases et neutre).

Dans le cas d'un circuit sans défaut, la somme vectorielle  $\vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 + \vec{I}_n = \vec{0}$ , il n'y a donc pas de courant dans la bobine de détection.

Lors d'un défaut la somme vectorielle

$\vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 + \vec{I}_n = \vec{I}_d$ , il apparaît donc un courant dans la bobine de détection proportionnel au courant de défaut  $I_d$ . La bobine alimente un dispositif à seuil de courant qui donnera l'ordre de déclenchement à l'appareil de coupure (interrupteur, disjoncteur).



## 4.3. Conditions de déclenchement

Le seuil de réglage est appelé  $I_{\Delta n}$ . La norme de construction des DDR (NF C 61-140) tolère une zone dans laquelle, le système différentiel peut ou non déclencher. Cette zone est fonction du courant de défaut  $I_d$  et du seuil du DDR  $I_{\Delta n}$  :

- Si  $I_d > I_{\Delta n}$  : déclenchement obligatoire du DDR,
- Si  $I_d < I_{\Delta n}/2$ , pas de déclenchement du DDR
- pour  $I_d$  compris entre ces deux valeurs, le DDR peut ou non déclencher



## 4.4. Caractéristiques

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 :

- **Type AC** : détecte les défauts en courant AC
- **Type A** : détecte les défauts en courant AC et CC impulsionnels (à condition que le courant CC s'annule au moins une fois chaque demi cycle)

- **Type B** : détecte les défauts en courant AC, CC impulsionnels et CC lissés

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.

Selon leur emploi dans une installation, ils pourront de plus être à déclenchement instantané ou retardé.

Le temps de déclenchement du DDR est d'autant plus court que le courant de défaut est supérieur au courant de réglage.

Il existe quatre classes de DDR en fonction de leur temps de fonctionnement (déclenchement + coupure).

Classe	Id		
	$I\Delta n$	$2 I\Delta n$	$10 I\Delta n$
T01	1000 ms	150 ms	30 ms
T02	200 ms	100 ms	30 ms
T1	1000 ms	250 ms	150 ms
T2	200 ms	100 ms	100 ms

D'autre part, pour des raisons de sélectivité, il peut être nécessaire de retarder un déclenchement. Il y a trois types de retard :

- Pas de retard ;
- 50 ms de retard ;
- 400 ms de retard.

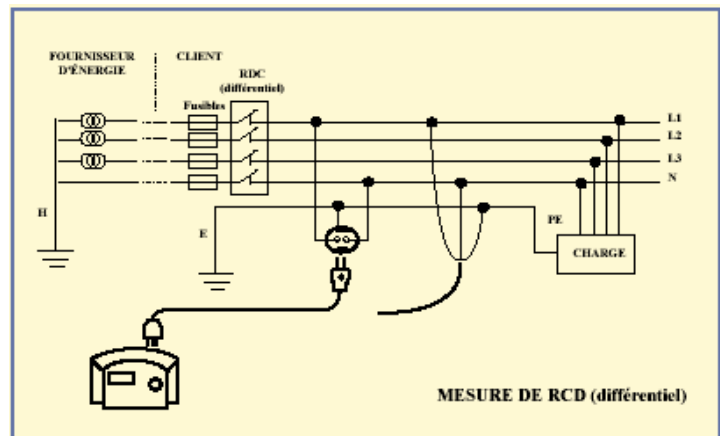
#### 4.5. Test & contrôles des installations protégées par appareils différentiels.

Le différentiel interrompt la circulation des courants de défauts lorsque ceux-ci atteignent des valeurs qui ne sont plus compatibles avec la sécurité, compte tenu de la valeur de la terre (tension de contact inférieure à 50 V ou 25 V).

Méthode de mesure : Deux tests permettent de s'assurer du bon fonctionnement des dispositifs différentiels :

- La mesure du temps de disjonction : elle se réalise en faisant circuler un courant de défaut de valeur fixe, égal ou proportionnel au calibre nominal du différentiel.

- La mesure du courant de disjonction : elle se réalise en faisant croître le courant progressivement (rampe) jusqu'à la disjonction du différentiel. Celle-ci doit se produire entre 50% et 100% du calibre nominal.



Il existe une diversité d'appareils permettant d'effectuer des mesures de déclenchement de dispositifs différentiels. Ces appareils proposent des tests plus ou moins complets selon les modèles.

## 5. Sélectivité

### 5.1. Définition :

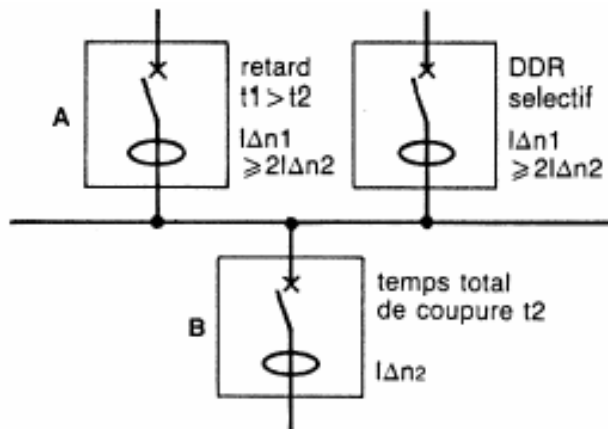
La sélectivité est la coordination des dispositifs de protection pour qu'un défaut survenant en un point quelconque du réseau, soit éliminé par le disjoncteur placé immédiatement en amont du défaut.

Note : la sélectivité peut s'appliquer aussi bien à une protection contre les surintensités (disjoncteurs), qu'à une protection contre les défauts d'isolement (Dispositifs différentiels).

## 5.2. Sélectivité verticale

Pour réaliser la sélectivité entre A et B (non-déclenchement de A pour défaut en aval de B), la sélectivité doit être ampèremétrique et chronométrique :

- en courant, la sensibilité de l'appareil amont doit être au moins le double de celle de l'appareil aval car  $I_{\Delta n1} \geq 2 I_{\Delta n2}$  y  $I_{\Delta n}$
- en temps, le retard  $t_1$ , apporté au fonctionnement de l'appareil amont doit être supérieur au temps total de coupure  $t_2$  de l'appareil aval.



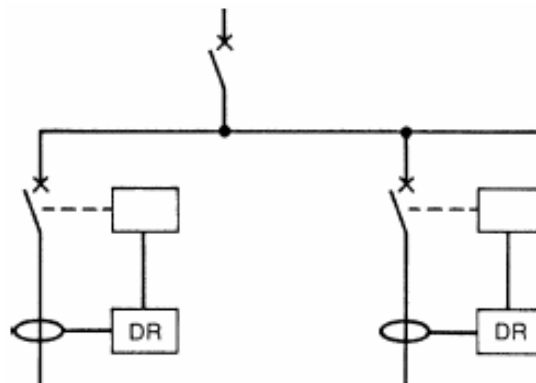
Lorsqu'on utilise un relais séparé associé à un appareil de coupure, le temps  $t_2$  comporte, non seulement le temps de réponse du relais DR, mais également le temps de coupure de l'appareil associé (généralement inférieur à 50 ms).

## 5.3. Sélectivité Horizontale

Prévue par la norme NF C 15-100 § 536-3-2, elle permet l'économie d'un disjoncteur différentiel en tête d'installation lorsque les divers disjoncteurs sont dans le même tableau. En cas de défaut, seul le départ en défaut est mis hors tension, les autres dispositifs différentiels ne voyant pas de courant de défaut.

Ce schéma n'est admis que si les moyens appropriés sont mis en œuvre pour se prémunir contre les défauts à la masse dans la partie d'installation compris entre le disjoncteurs général et les dispositifs différentiels.

Ces moyens appropriés peuvent résulter de l'emploi de matériels de la classe II, ou l'application de la mesure de protection "par isolation supplémentaire" contre les contacts indirects



## 5.4. Sélectivité Chronométrique :

Cette technique consiste à retarder plus ou moins l'instant d'ouverture des DDR en jouant sur le temps de fonctionnement des appareils. Elle nécessite :

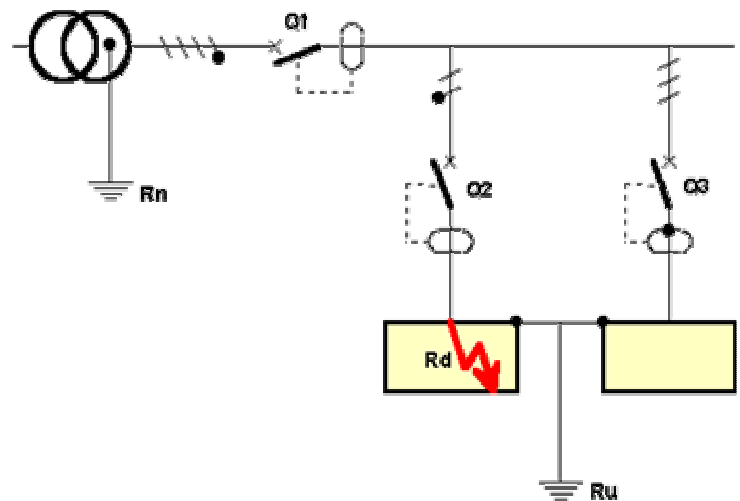
- l'introduction de retardateurs dans le système de déclenchement des disjoncteurs amont
- les appareils les plus proches des récepteurs doivent respecter les temps minimums de déclenchement, en fonction des tensions de contact (voir courbes de sécurité).

## 5.5. Sélectivité Ampèremétrique :

Équipons de DDR les disjoncteurs Q1, Q2 et Q3.

En cas de défaut sur le premier récepteur les DDR de Q1 et de Q2 sont traversés par le même courant de défaut. Il est donc impératif d'avoir une sélectivité entre ces deux appareils si l'on désire avoir une continuité de service.

Il est donc nécessaire de régler le seuil de non-fonctionnement du DDR de Q1 ( $I_{\Delta n Q1} / 2$ ) supérieur ou au moins égal au seuil de fonctionnement du DDR de Q2 ( $I_{\Delta n Q2}$ ).



Plusieurs cas peuvent se produire suivant la valeur du courant de défaut :

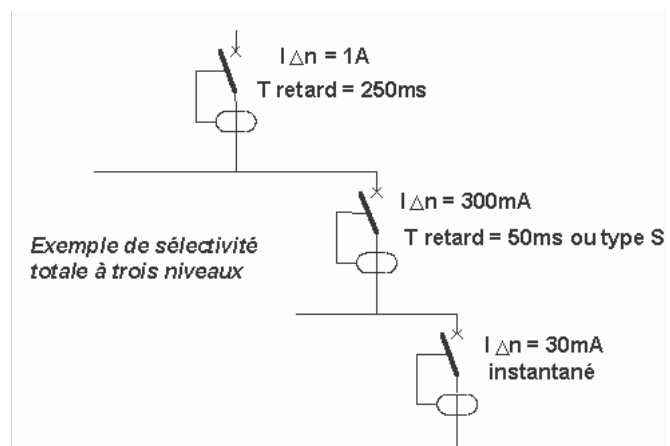
- $I_d < I_{\Delta n Q2} / 2$ , ni le DDR de Q1, ni le DDR de Q2 ne sont sensibles.
- $I_{\Delta n Q2} / 2 < I_d < I_{\Delta n Q2}$ , le seuil de fonctionnement de DDR de Q2 est peut être atteint (zone de tolérance), il y a sélectivité.
- $I_{\Delta n Q2} < I_d < I_{\Delta n Q1} / 2$ , le seuil de déclenchement du DDR de Q2 est atteint, pas celui de Q1. Il y a sélectivité.
- $I_{\Delta n Q1} / 2 < I_d < I_{\Delta n Q1}$ , le DDR de Q2 déclenche et le DDR de Q1 peut déclencher car nous sommes dans sa zone d'incertitude. La sélectivité ne peut être garantie.
- $I_{\Delta n Q1} < I_d$ , les DDR de Q1 et de Q2 déclenchent, il n'y a pas sélectivité.

La sélectivité est donc limitée à des valeurs de  $I_d < I_{\Delta n Q1} / 2$ . On dit qu'il y a sélectivité ampèremétrique partielle.

Pour obtenir la sélectivité dans tous les cas, il est nécessaire de retarder le fonctionnement du DDR de Q1. Il s'agit dans ce cas d'une sélectivité chronométrique.

Règle: pour obtenir une sélectivité verticale totale, il faut que :

- le seuil du DDR amont soit au moins de deux fois le seuil du DDR aval.
- le temps de non-fonctionnement du DDR amont soit supérieur ou au moins égal au temps total de coupure du DDR aval, ou alors que le DDR amont soit du type sélectif.



## 5.6. Sélectivité Logique :



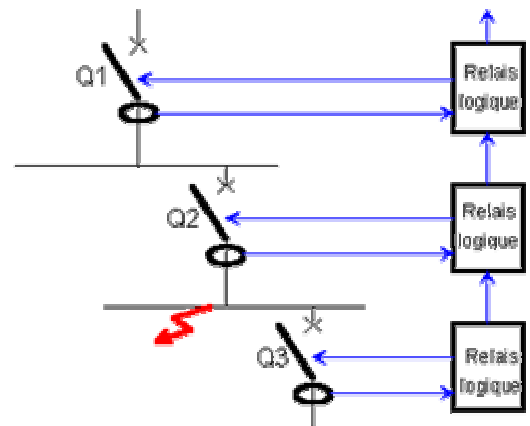
Elle s'obtient par un système donnant l'ordre de déclenchement en fonction de la localisation du défaut.

A chaque niveau, le relais logique reçoit deux informations :

- une image de l'intensité passant dans l'appareil qu'il commande
- un signal venant des appareils situés immédiatement en aval, lui indiquant si l'un d'eux voit passer la surintensité

Le relais émet deux ordres :

- un ordre de déclenchement vers l'appareil qu'il contrôle s'il l'estime nécessaire
- une information indiquant ou non qu'il voit passer une surintensité vers l'appareil situé en amont.



Dans l'exemple ci contre, le défaut sera vu par le relais de Q1 et le relais de Q2.

Dans un premier temps le relais de Q1 reçoit une information du relais de Q2 lui indiquant qu'il donne l'ordre à Q2 de s'ouvrir pour éliminer le défaut.

Si Q2 n'ouvre pas suite à une défaillance, le relais de Q1 donnera alors l'ordre à Q1 de couper.

Ce système de sélectivité nécessite des fils pilotes entre étages et une source auxiliaire d'alimentation ce qui rend son utilisation difficile en basse tension.

## 6. Prise de terre

La législation a rendu obligatoire l'installation d'une prise de terre. Elle évite des élévations dangereuses de potentiel des masses et une mise sous tension accidentelle de masses métalliques ou conductrices pouvant être touchées par un individu. Quand une tension anormale (ou « tension de défaut ») est créée, l'écoulement via la prise de terre du « courant de défaut » associé, permettra le déclenchement si nécessaire des dispositifs de protection. Une prise de terre doit toujours donc être associée à un dispositif de coupure, sinon elle n'a pratiquement aucun intérêt.

Les dispositifs de protection doivent déclencher dès qu'un courant de défaut circulant dans l'installation entraîne une tension de défaut dépassant la tension limite acceptée par le corps humain.

Considérons :  $U_{\text{limite}} = 50V_{AC}$  ; De façon générale, dans les installations domestiques, le dispositif de coupure différentiel (DDR) associé à la prise de terre accepte une élévation de courant de 500 mA.

Par la loi d'Ohm,  $U=RI$  On obtient :  $R = 50 V / 0,5 A = 100 \Omega$ .

Pour garantir la sécurité des individus et des biens, il faut que la résistance de la prise de terre soit inférieure à  $100 \Omega$ .

La réalisation d'une bonne prise de terre (dont la résistance est  $< 100 \Omega$ ) dépend de trois éléments essentiels :

- la nature de la prise de terre
- la nature et la résistivité du terrain
- le conducteur de terre

## 6.1. Nature des prises de terre

Conformément à la norme NF C 15-100, les prises de terre peuvent être de l'un des types suivants :

- piquets ou tubes métalliques verticaux
- rubans ou câbles enfouis horizontalement
- plaques métalliques
- ceinturages métalliques à fond de fouilles
- armatures en bétons noyées dans le sol
- canalisations métalliques de distribution d'eau (avec l'accord du distributeur d'eau)
- etc...

La résistance de la prise de terre ainsi constituée dépendra de sa forme, de son implantation dans le terrain donc de la résistivité de celui-ci.

### 6.1.1. Boucle à fond de fouille

De loin, la technique la plus efficace, elle consiste à creuser une tranchée autour de la maison puis à enterrer un câble dénudé qui formera une boucle. La résistance est de l'ordre de 100 ohms.

Vous devrez utiliser un fil de cuivre nu de 25 mm<sup>2</sup> (ou 95 mm<sup>2</sup> pour de l'acier galvanisé).

*Résistance de la prise de terre = 2 X résistivité du sol (en ohms par mètre) / longueur de la boucle*

### 6.1.2. Piquet vertical

Le piquet vertical est d'utilisation courante. Pourtant, cette technique est d'un résultat moyen si elle est utilisée sur un sol pierreux, calcaire ou granitique; c'est à dire un terrain sec. Sur un sol plutôt humide, cette technique offre une bonne qualité de résistance (très faible) et une réalisation simple.

Elle consiste à planter un piquet dans le sol et d'y relier le conducteur de terre. Il est fortement recommandé de réaliser un regard de visite pour vérifier l'état de la connexion et la protéger de la corrosion. La connexion peut être entourée d'un goudron ou d'un mastic.

A noter qu'il est possible de placer plusieurs piquets pour améliorer la qualité de la résistance.

*Résistance de la prise de terre = (1 / nombre de piquets ) x ( résistivité du sol / longueur d'un piquet )*

### 6.1.3. tranchée

Cette technique consiste à creuser une tranchée de 1 mètre de profondeur et de 10 mètres de long et d'y placer un conducteur de cuivre nu de 25 mm<sup>2</sup>. Si vous suivez les canalisations d'eau, de gaz ou d'électricité, vous devez laisser un espace de 20 centimètres entre les deux tranchées.

### 6.1.4. canalisations d'eau

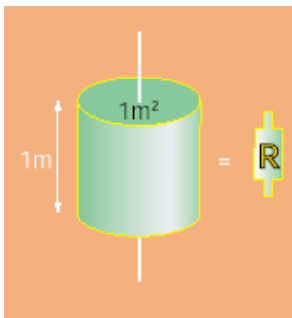
Les canalisations d'eau peuvent servir de mise à la terre à conditions qu'elles soient en métal. L'accord du distributeur d'eau est nécessaire. En revanche, il est interdit d'utiliser les canalisations de gaz, de chauffage central...

### 6.1.5. barrette de mesure

La borne principale de terre ou barrette de mesure est obligatoire pour l'installation d'une prise de terre. Elle est intercalée entre le circuit principal de l'habitation et le conducteur de sortie qui sera branchée dans le sol. Cette borne doit être facilement accessible et démontable.



## 6.2. Notion de résistivité de terrain



La résistivité ( $\rho$ ) d'un terrain s'exprime en Ohm.mètre (&.m). Ceci correspond à la résistance théorique en Ohm d'un cylindre de terre de 1 m de section et de 1 m de longueur. La résistivité est très variable selon les régions et la nature des sols car elle dépend du taux d'humidité et de la température (le gel ou la sécheresse l'augmentent).

Pour exemples :

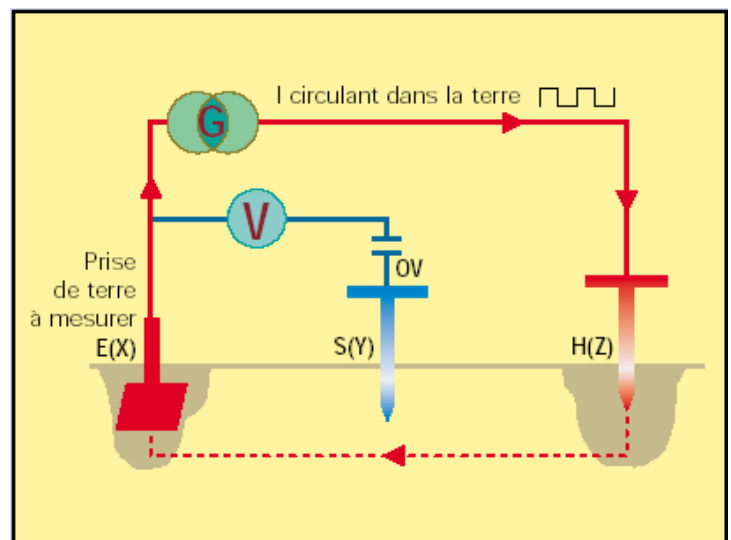
Nature du terrain	Résistivité (en $\Omega.m$ )
Terrains marécageux	de qqes unités à 30
Limon	20 à 100
Humus	10 à 150
Marnes du jurassique	30 à 40
Sable argileux	50 à 500
Sable siliceux	200 à 3000
Sol pierreux nu	1500 à 3000
Sol pierreux recouvert de gazon	300 à 500
Calcaires tendres	100 à 300
Calcaires fissurés	500 à 1000
Micaschistes	800
Granits et grès en altération	1500 à 10000
Granits et grès très altérés	100 à 600

## 6.3. Mesure de la prise de terre

Principe :

E est la prise de terre à mesurer. On fait circuler à l'aide d'un générateur approprié G, un courant alternatif (i) constant à travers la prise auxiliaire H dite « prise d'injection courant », le retour se réalisant par la prise de terre E. On mesure la tension V entre les prises E et le point du sol où le potentiel est nul au moyen d'une autre prise auxiliaire S dite « prise de potentiel 0V ».

Le quotient de la tension V, ainsi mesurée par le courant constant injecté (i), donne la résistance recherchée.



$$R_E = U_{ES} / I_{EH}$$

## 7. Régime TT

### 7.1. Définition

Dans ce type de schéma, dit de « neutre à la terre » : le neutre de la source est relié à une prise de terre, en général distincte de celle des masses, toutes les masses protégées par un même dispositif de

coupure doivent être reliées au même système de mise à la terre. C'est le cas typique de la distribution publique en France.

## 7.2. Principe de la protection

En présence d'un défaut d'isolement, le courant de défaut  $I_d$ , est évacué par le sol, par l'intermédiaire des prises de terre du neutre et des masses. Ce courant de fuite sera détecté, et l'installation mise hors service immédiatement.

$I_d$  est essentiellement limité par les résistances des prises de terre.

Dans l'hypothèse d'un défaut franc, le courant de défaut est :

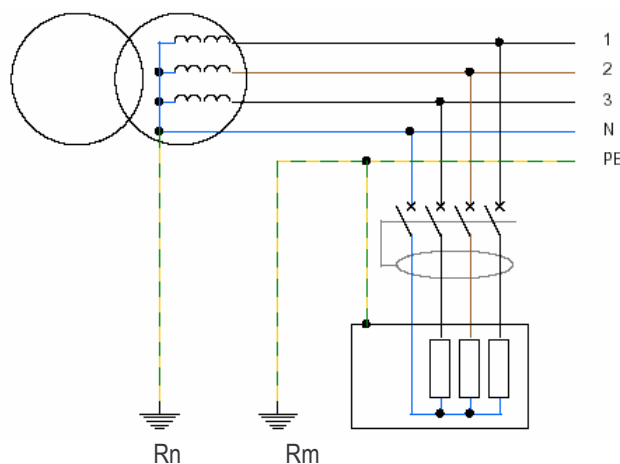
$I_d = U_0 / \Sigma R_{\text{terre}}$ , avec  $\Sigma R_{\text{terre}}$  étant la somme des résistances de prise de terre du neutre  $R_n$ , et de prise de terre des masses  $R_m$ .

Ce courant de défaut induit une tension de défaut aux bornes de la résistance de terre des masses :

$$U_d = R_m \times I_d, \text{ ou } U_d = U_0 \times R_m / (R_m + R_n)$$

Les résistances de terre étant généralement faibles et de même ordre de grandeur (environ  $10 \Omega$ ), cette tension de l'ordre de  $U_0/2$  est dangereuse; il est donc obligatoire de prévoir une déconnexion automatique de la partie de l'installation concernée par le défaut.

## 7.3. Schéma de principe



## 7.4. Appareils à associer

Le courant de défaut au-delà duquel il y a risque  $I_{do} = U_L / R_a$  étant très largement inférieur aux réglages des dispositifs de protection à maximum de courant, il est nécessaire de mettre en oeuvre, en tête d'installation, au moins un DDR. Pour améliorer la disponibilité de l'énergie électrique, l'emploi de plusieurs DDR permet de réaliser une sélectivité ampèremétrique et chronométrique au déclenchement. Tous ces DDR auront un seuil de courant assigné  $I_{\Delta n}$  inférieur à  $I_{do}$ .

La mise hors tension, par intervention des DDR, doit se faire d'après la norme en moins de 1s.

A noter que la protection par DDR :

- est indépendante de la longueur des câbles;
- autorise plusieurs prises de terre  $R_m$  séparées (disposition non souhaitable car le PE n'est plus une référence de potentiel unique pour l'ensemble de l'installation)

## 7.5. Calcul d'une installation : vérification de la protection pour :

### 7.5.1. défaut simple, franc

#### a) Calcul de la tension de contact:

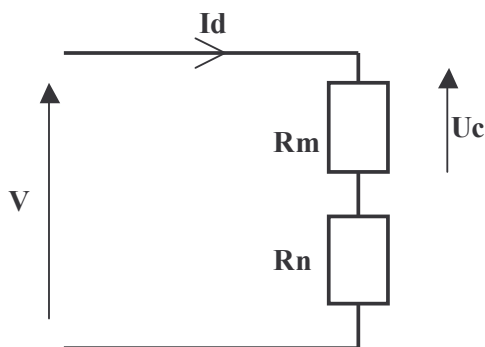
Pour cet exemple, on prendra les valeurs :  
 $V = 230 \text{ V}$ ,  
 $R_m = 80 \Omega$ ,  
 $R_n = 30 \Omega$

On considérera que le défaut est survenu dans un local sec ( $U_L \leq 50\text{V}$ ).

Pour le calcul de  $U_c$ , nous utiliserons le pont diviseur de tension :

$$U_c = (R_m / (R_m + R_n)) \times V$$

$$U_c = (80 / (80 + 30)) \times 230 = \mathbf{167 \text{ V}}$$



Cette tension de contact est dangereuse car  $U_c > U_L$  ( $167 \text{ V} > 50 \text{ V}$ ), il est nécessaire de mettre hors tension l'installation.

On remarque que, plus la valeur de la prise de terre des masses est importante, plus la tension de contact sera grande : il faut donc rendre la valeur de la prise de terre des masses la plus faible possible

#### b) Détermination du temps de coupure :

Nous allons, à présent, déterminer le temps maximum que l'appareil de protection ne doit pas dépasser pour réagir sans mettre en danger la personne.

Voici un tableau donnant le temps de coupure maximal du dispositif de protection en fonction de la valeur de la tension de contact pour un défaut se situant dans un local où la valeur de la tension limite est 50 V.

tension de contact présumée (V)	temps de coupure maximal du dispositif de protection (s)	
	courant alternatif	courant continu
< 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

D'après ce tableau, l'alimentation devra être interrompue en un temps inférieur ou égal à **0,17 s**.

#### c) Calcul du courant de défaut

A l'aide du schéma équivalent précédent,  $I_d = V / (R_m + R_n) = 230 / (80 + 30) = \mathbf{2,1 \text{ A}}$

Ce courant de défaut est trop faible pour faire réagir les protections contre les surintensités (disjoncteur magnéto-thermique, fusibles).

L'appareil de coupure automatique approprié sera un **Dispositif Différentiel à courant Résiduel (D.D.R.)**.

Calculons, à présent, la valeur du courant ( $I_p$ ) traversant la personne qui toucherait la machine en défaut (on prendra  $1\,000 \Omega$  de résistance corporelle):  $I_p = U_c / R_h = 167 / 1\,000 = \mathbf{167 \text{ mA}}$

Ce courant est largement supérieur au seuil de non danger pour le corps humain (0,5 mA).

d) Choix de la sensibilité du D.D.R.

Pour ne pas mettre en danger les personnes, il faut que la sensibilité  $I\Delta n$  du D.D.R. soit :

$$I\Delta n \leq UL / R_m$$

Dans notre exemple,  $I\Delta n \leq 50 / 80$  soit  $I\Delta n \leq 625 \text{ mA}$

On s'aperçoit qu'il est très simple d'assurer une bonne sécurité même si la prise de terre des masses a une valeur assez élevée, il suffit pour cela de corriger la sensibilité du D.D.R.

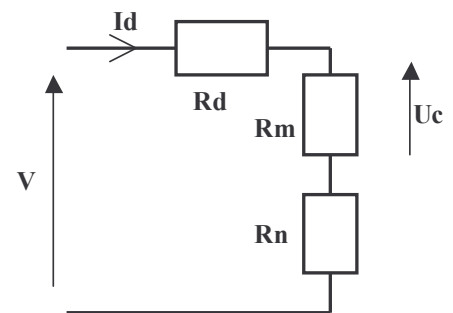
e) Récapitulatif :

Il nous faudra donc un appareil différentiel dont la sensibilité devra être inférieure à 625mA, et qui assurera une ouverture du circuit en défaut en moins de 0,17s.

7.5.2. défaut simple, non franc

La méthode est la même que le défaut soit franc ou non ; le schéma équivalent devient alors :

Suivant la valeur de  $R_d$ , il convient de reprendre les calculs de  $I_d$ ,  $U_c$ , et de déterminer selon le cas, le temps max de déclenchement de l'appareil à associer.



7.5.3. défaut double (*à compléter*)

7.5.4. cas de prises de terre multiple (*à compléter*)

7.6. Conditions d'utilisation :

Toutes les masses des matériels protégés par un même dispositif de protection doivent être reliés par un même conducteur de protection PE, et à une prise de terre commune.

La protection différentielle doit satisfaire à la relation :

$$I\Delta n \leq UI / R_m$$

avec  $I\Delta n$ : sensibilité du DDR,  $UI$  tension limite de sécurité imposée par la norme, et  $R_m$  valeur de la résistance de prise de terre des masses.

7.7. Domaine d'application, Exemples d'installation

Si l'utilisateur n'est pas propriétaire du transformateur : régime TT imposé par EDF

8. Régime IT

### 8.1. Définition

Dans ce type de schéma, dit « à neutre isolé », le neutre du transformateur est :

- soit isolé de la terre (neutre isolé),
- soit relié à la terre par une impédance élevée (neutre impédant) ;

Toutes les masses de l'installation sont reliées à la terre.

### 8.2. Principe de la protection

#### a) Cas d'un premier défaut (défaut simple) :

Le premier défaut d'isolement engendre un courant de défaut  $I_d$  par l'intermédiaire de la prise de terre des masses  $R_m$ , de la prise de terre du neutre  $R_n$ , et de l'impédance élevée de liaison du neutre à la terre : le courant  $I_d$  est très faible (de l'ordre de 100mA).

La tension de contact  $U_c = R_m \times I_d$  ne vaut alors que quelques dixièmes de Volts. Cette tension est non dangereuse, donc l'installation peut être maintenue en service.

Ce premier défaut doit néanmoins être signalé par le CPI (contrôleur permanent d'isolement). Il faut disposer d'un système de localisation du défaut pour pouvoir intervenir sur-le-champ.

Dans le cas contraire, dans l'hypothèse de la survenue d'un deuxième défaut, la sécurité est assurée comme en régime TN par le disjoncteur magnéto-thermique, ce qui entraîne une interruption de service.

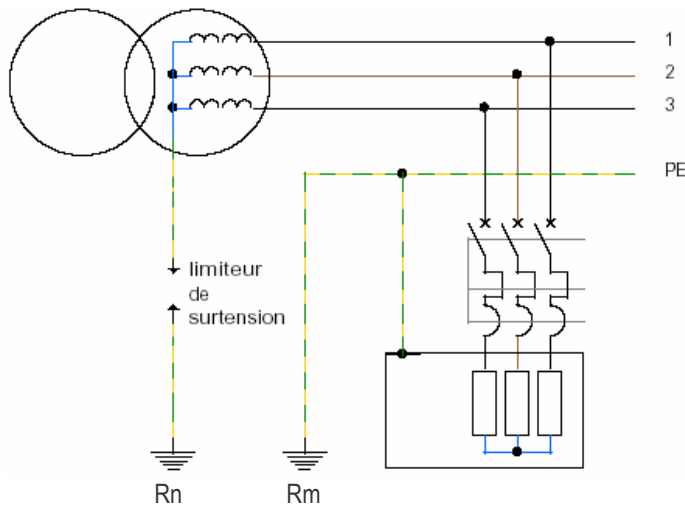
Le limiteur de surtension a pour but d'éliminer les surtensions par rapport à la terre en cas de claquage entre enroulements du transformateur : il transforme le régime IT en régime TN en cas de surtension importante.

#### b) Comportement au deuxième défaut :

Lorsqu'un deuxième défaut apparaît et que le premier défaut n'a pas été éliminé, trois cas sont à examiner :

- le défaut concerne le même conducteur actif : rien ne se passe et l'exploitation peut continuer,
- le défaut concerne deux conducteurs actifs différents : si toutes les masses sont interconnectées, le défaut double est un court-circuit (via le PE).
- le défaut concerne deux conducteurs actifs différents mais toutes les masses ne sont pas interconnectées : Pour des masses mises à la terre individuellement ou par groupe, chaque circuit ou chaque groupe de circuits doit être protégé par un DDR.

## 8.3. Schémas de principe

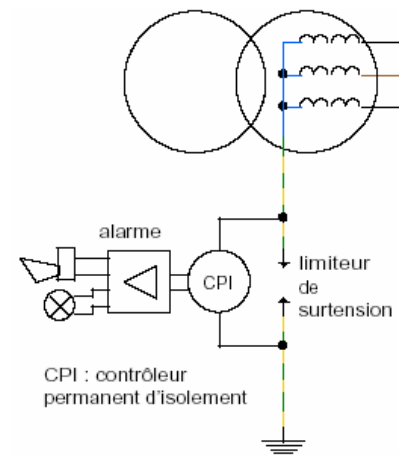


## 8.4. Appareils à associer :

a) Signalisation du premier défaut :



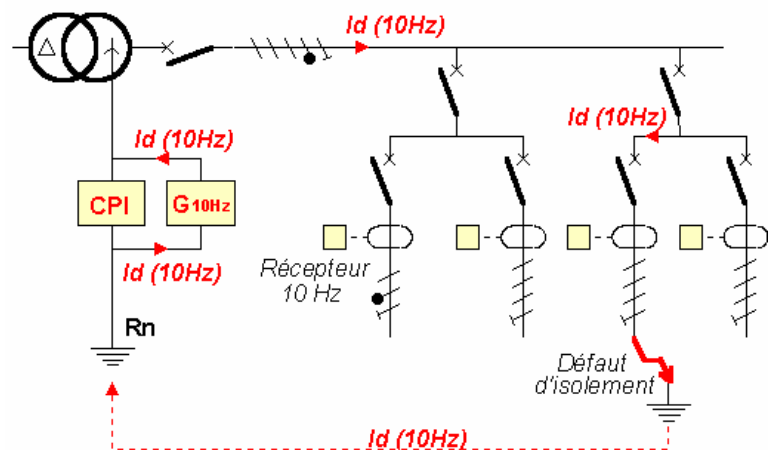
Nécessité d'installer un Contrôleur Permanent d'Isolement. Ce contrôleur mesure en permanence l'isolement du réseau par rapport à la terre et signale toute baisse du niveau d'isolement.



b) Recherche du défaut :

Un générateur de courant très basse fréquence (10 Hz) est relié d'une part à la terre, d'autre part à l'un des conducteurs actifs du réseau à contrôler.

Il fait circuler dans le défaut un courant qui peut être détecté en utilisant un transformateur tore associé à un filtre sélectif accordé sur cette fréquence.



La recherche peut être effectuée par un système mobile portable, composé d'une pince ampèremétrique et d'un récepteur sélectif TBF (10 Hz), ou par système fixe automatique, comprenant sur chaque départ un tore associé à un récepteur sélectif TBF (10 Hz). Ce dispositif est la solution pour harmoniser les impératifs d'exploitation et ceux de la sécurité



c) Protection contre les défauts multiples :

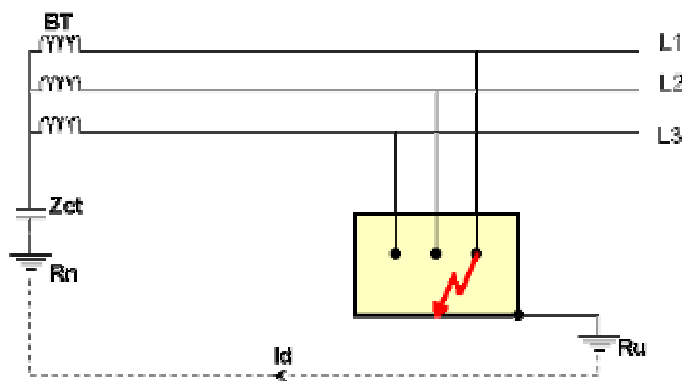
La protection des personnes est alors assurée par les dispositifs de protection contre les surintensités, ou par des DDR si les longueurs de câble sont plus grandes que celles autorisées ou dans le cas de prises e terre multiples.



d) Protection contre les surtensions :

Contre les élévations de tension (amorçage dans le transformateur MT/BT, contact accidentel avec un réseau de tension plus élevée, foudre sur le réseau MT), en France la norme NF C 15-100 impose qu'un limiteur de surtension soit installé entre le point neutre du transformateur MT/BT et la terre ( $R_n$ ).

## 8.5. Etude d'un défaut simple :



Pour bien fixer le potentiel d'un réseau en IT par rapport à la terre, il est conseillé de placer une impédance ( $Z_{ct} = 1\ 500\ \Omega$ ) entre le neutre du transformateur et la terre : c'est le schéma IT dit à neutre impédant.

Courant de premier défaut :  $I_d = V / Z_{ct}$  avec  $Z_{ct}$  impédance de liaison neutre-prise de terre.

$$I_d = 230 / 1500 = 0,153\ \text{A}$$

$$U_c = R_m \times I_d = 1,53\ \text{V (si } R_m = 10\ \Omega)$$

La tension de défaut correspondante reste faible et non dangereuse, l'installation peut être maintenue en service. Continuer l'exploitation, sans danger, est fort intéressant, mais il faut :

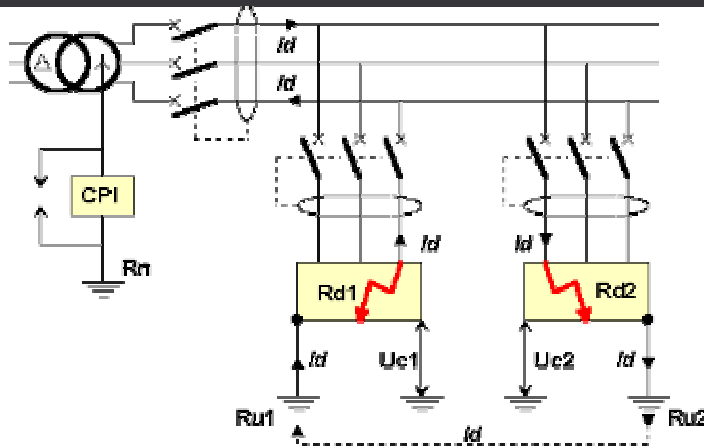
- savoir qu'il y a un défaut,
- le rechercher rapidement, et l'éliminer, ceci avant qu'un deuxième défaut ne survienne.

## 8.6. Etude d'un défaut double :

Si un premier défaut n'a pu être éliminé avant qu'en apparaisse un deuxième, affectant un autre conducteur actif sur un autre circuit, on se trouve en présence d'un défaut double. Deux cas peuvent se présenter, selon que les masses de l'installation soient ou non reliées à la même prise de terre.

a) Masses d'utilisation non interconnectées

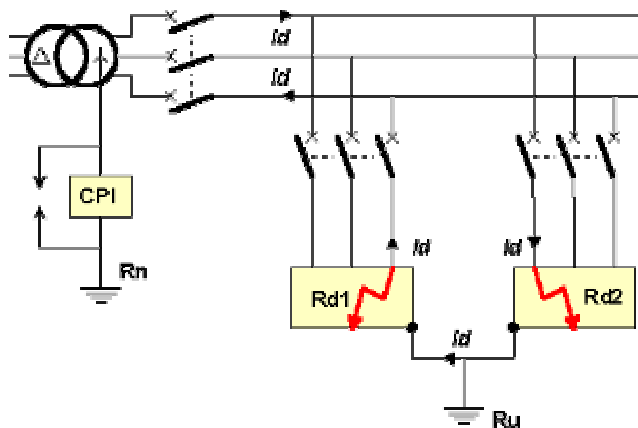
Ce cas de figure se rencontre lorsque dans une installation l'on trouve plusieurs prises de terre non reliées entre elles par une liaison équipotentielle.



Selon que les défauts affectent deux phases (tension composée  $U$ ) ou phase et neutre (tension simple  $V$ ), le courant de défaut  $I_d$  qui se referme par les prises de terre utilisation  $R_{m1}$  et  $R_{m2}$  aura pour valeur dans le cas où les deux défauts sont francs ( $R_{d1} = 0 \Omega$  et  $R_{d2} = 0 \Omega$ ) :

### a) Masses d'utilisation interconnectées

Lorsque toutes les masses de l'installation sont interconnectées à la même prise de terre, un défaut double affectant des conducteurs actifs différents se transforme en court-circuit biphasé ou phase-neutre.



La protection des personnes est alors assurée par les dispositifs de protection contre les surintensités, ou par des DDR si les longueurs de câble sont plus grandes que celles autorisées.

## 8.7. Domaine d'application

Le neutre isolé est la solution assurant la meilleure continuité de service en exploitation. Pour cette raison, on trouvera ce SLT dans les hôpitaux (en particulier dans les salles d'opérations), les réseaux électriques des pistes d'aéroport, dans les mines et les locaux où il existe des risques d'incendie ou d'explosion, sur les bateaux et dans toutes les industries où un arrêt de fonctionnement serait coûteux ou dangereux.

Exemples de situations où le régime IT est obligatoire : bloc opératoire, verrerie, nucléaire, immeuble de grande hauteur, ...

## 9. Régime TN

### 9.1. Définition

Le neutre du transformateur est relié à la terre.  
Les masses métalliques sont reliées au Neutre par l'intermédiaire du PE.

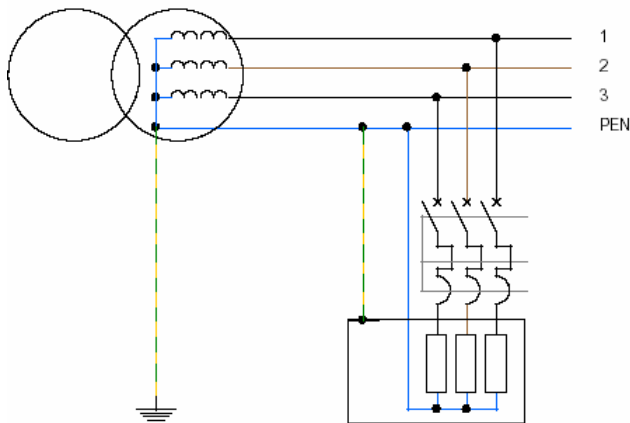
## 9.2. Principe de la protection

Pour le régime de neutre TN, la création d'un défaut d'isolement au niveau d'un récepteur peut être assimilé à une liaison entre une phase et le neutre (court-circuit).

## 9.3. Schémas de principe

Il existe en fait, deux schémas d'installation possibles : les schémas TNC et TNS

TNC :



Le conducteur qui sert de neutre et de protection s'appelle le **PEN**.

Le conducteur neutre du récepteur est connecté au conducteur de protection PEN. Ce qui permet de n'utiliser qu'un dispositif de protection tripolaire (au lieu d'un tétrapolaire pour la prise en compte du neutre).

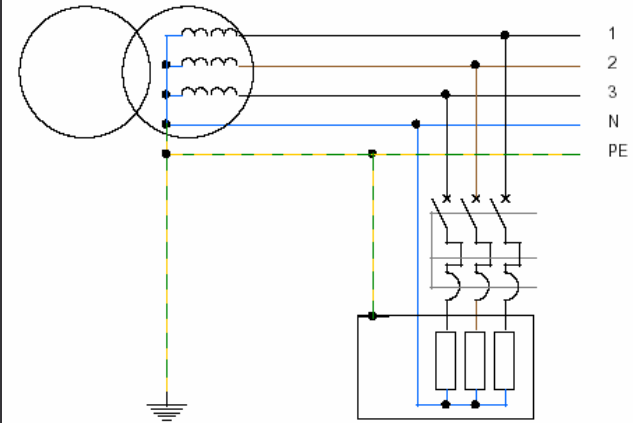
Un défaut franc au niveau du récepteur équivaut à la création d'un court-circuit entre la phase 3 et le neutre.

Le schéma TNC est le schéma d'installation qui sera toujours recherché. A défaut de pouvoir utiliser le schéma TNC, on utilisera le schéma d'installation TNS (dont le coût est plus élevé).

L'utilisation de ce schéma n'est autorisée que sur les conducteurs de section supérieure à :

- 10 mm<sup>2</sup> pour les conducteurs en cuivre
- 16 mm<sup>2</sup> pour les conducteurs en aluminium.

TNS :



Le dispositif de protection doit comporter un pôle pour la coupure du conducteur neutre (appareil tétrapolaire).

Un défaut franc au niveau du récepteur équivaut à la création d'un court-circuit entre la phase 3 et le neutre.

Le schéma TNS est à utiliser dans les cas où le schéma TNC ne peut convenir, c'est-à-dire :

lorsque la section des conducteurs est  $>$  à 10 mm<sup>2</sup> pour le cuivre.

lorsque la section des conducteurs est  $>$  à 16 mm<sup>2</sup> pour l'aluminium.

lorsqu'une longueur de câbles trop importante fait baisser la valeur du courant de court-circuit et par conséquent, le temps de déclenchement du dispositif de protection.

## 9.4. Appareils à associer

Les protections à associer sont des appareils de protection contre les courts circuits type disjoncteurs pour les installations dont les liaisons sont courtes.

Pour les installations à liaisons longues, une protection différentielle se révèle indispensables.

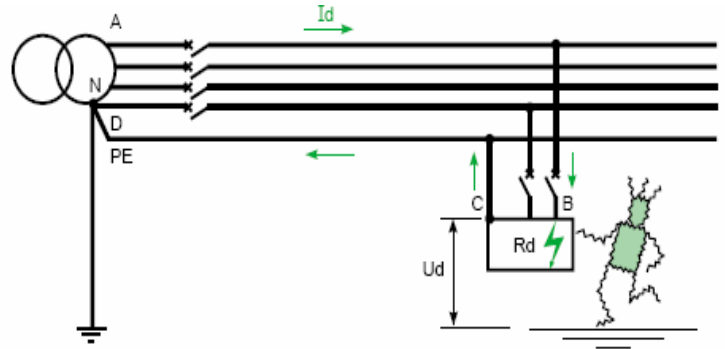
## 9.5. Vérification de la protection

En présence d'un défaut d'isolement, le courant de défaut  $I_d$  n'est limité que par l'impédance des câbles de la boucle de défaut :

$$I_d = U_0 / (R_{ph} + R_d + R_{PE})$$

Pour un départ et dès que  $R_d = 0$  :

$$I_d = 0,8 U_0 / (R_{ph} + R_{PE})$$



En effet, lors d'un court-circuit, il est admis que les impédances en amont du départ considéré provoquent une chute de tension de l'ordre de 20 % sur la tension simple  $U_0$ , qui est la tension nominale entre phase et terre, d'où le coefficient de 0,8.

$I_d$  induit donc une tension de défaut, par rapport à la terre :

$$U_d = R_{PE} \times I_d \text{ soit : } U_d = 0,8 U_0 \times R_{PE} / (R_{ph} + R_{PE})$$

Pour les réseaux 230/400 V, cette tension de l'ordre de  $U_0/2$  (si  $R_{PE} = R_{ph}$ ) est dangereuse car supérieure à la tension limite de sécurité, même en milieu sec ( $U_L = 50$  V). Il est alors nécessaire d'assurer une mise hors tension automatique et immédiate de l'installation ou de la partie de l'installation.

## 9.6. Conditions d'utilisation

Le défaut d'isolement étant similaire à un court-circuit phase-neutre, la coupure est réalisée par le Dispositif de Protection contre les Courts-Circuits -DPCC- avec un temps maximal de coupure spécifié fonction de  $U_L$  :

$U_0$ (volts) tension phase/neutre	Temps de coupure (secondes) $U_L = 50$ V	Temps de coupure (secondes) $U_L = 25$ V
127	0,8	0,35
230	0,4	0,2
400	0,2	0,05
> 400	0,1	0,02

$$I_d = \frac{0,8 U_0}{Z} = \frac{0,8 U_0}{R_{ph} + R_{PE}} = \frac{0,8 U_0 S_{ph}}{\rho (1+m)L}$$

Pour que la protection assure bien sa fonction, il faut  $I_a < I_d$ , d'où l'expression de  $L_{max}$ , longueur maximale autorisée par la protection ayant pour seuil  $I_a$  :

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

$L_{max}$  : longueur maximale en m ;

$U_0$  : tension simple 230 V pour un réseau triphasé 400 V ;

$\rho$  : résistivité à la température de fonctionnement normal ;

$I_a$  : courant de coupure automatique :

- pour un disjoncteur  $I_a = I_m$  ( $I_m$  courant de fonctionnement du déclencheur magnétique ou court-retard),
- pour un fusible, courant tel que le temps total de coupure du fusible (temps de préarc + temps d'arc) soit conforme à la norme,

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

Si la ligne est d'une longueur supérieure à  $L_{max}$ , il faut soit diminuer  $I_a$ , soit augmenter  $S_{PE}$ , soit mettre en oeuvre un Dispositif Différentiel Résiduel (DDR).

Une installation TN est économique (TNC notamment), mais doit d'abord être calculée avant d'être installée, puis vérifiée.

## 10. Utilisation de la Très Basse Tension TBT

Catégorie	Tension limite $U_L$ (Veff)				Transfo (U < UL)	Liaison à la terre des parties actives	Sectionnement et protection contre les courts-circuits	Protection contre les contacts indirects	Protection contre les contacts directs	Récepteur
	mouillé		sec							
	AC	DC	AC	DC						
TBTS	25	60	50	120	Tr. de sécurité norme CEI 742	Interdite	tous conducteurs actifs	NON	NON	
TBTP	12,5	30	25	60	Tr. de sécurité norme CEI 742	OUI	tous conducteurs actifs	NON	NON	
TBTF	50	120	50	120	Transfo. quelconque	OUI	tous conducteurs actifs	OUI	OUI (IP 2X)	

## 11. Choix d'un schéma de liaison à la terre

**exemples fréquents où le schéma de liaison à la terre est imposé (ou fortement recommandé) par des textes officiels**

Bâtiment alimenté par un réseau de distribution publique (domestique, petit tertiaire, petit atelier)

**neutre à la terre (TT)**  
Arrêté Interministériel du 13.2.70



Etablissements recevant du public

**neutre isolé (IT)**  
Règlement de sécurité contre les risques de panique et d'incendie dans les lieux recevant du public.



Circuits de sécurité (éclairage) soumis au décret de protection des travailleurs

**neutre isolé (IT)**  
Arrêté ministériel du 10 novembre 1976 relatif aux circuits et installations de sécurité (publié au journal officiel n° 102 NC du 1<sup>er</sup> décembre 1976).



Mines et carrières

**neutre isolé (IT) ou neutre à la terre (TT)**  
Décret n° 76-48 du 9.1.76  
Cirulaire du 9.1.76 et règlement sur la protection du personnel dans les mines et carrières, annexée au décret 76-48.



entretien assuré par un personnel électricien qualifié	continuité de service primordiale	
OUI	OUI	NON
	neutre isolé (IT) combiné à d'autres mesures éventuelles (normal-secours, sélectivité des protections, localisation et recherche automatique du 1 <sup>er</sup> défaut...), il constitue le moyen le plus sûr pour éviter au maximum les coupures en exploitation. <b>Exemples :</b> ■ industries où la continuité de service est prioritaire pour la conservation des biens ou des produits (sidérurgie, industries alimentaires...), ■ exploitation avec circuits prioritaires de sécurité : immeubles de grande hauteur, hôpitaux, établissements recevant du public.	neutre isolé (IT), neutre à la terre (TT), mise au neutre (TN) Choix définitif après examen : ■ des caractéristiques de l'installation (nature du réseau, des récepteurs... tableau C), ■ du degré de complexité de mise en œuvre de chaque schéma, ■ du coût de chaque schéma (à l'étude, à l'installation, à la vérification, à l'exploitation).
NON	aucun SLT n'est satisfaisant du fait de l'incompatibilité entre ces 2 critères.	neutre à la terre (TT) Le plus simple à mettre en œuvre, à contrôler, à exploiter (en particulier si des modifications d'installation sont envisagées en exploitation).

nature de l'alimentation	schéma	remarques
réseau de distribution BT	TT	■ emploi de parafoudre si distribution aérienne
installation à BT issue d'un poste HTA/BT de l'établissement	TT	■ recommandé pour les installations peu surveillées ou évolutives
	TN	■ TNS conseillé pour les installations très surveillées et peu évolutives
	IT	■ recommandé s'il y a un impératif de continuité de service ■ attention à la tension d'emploi de certains filtres HF
circuit issu d'un transformateur BT/BT à enroulements séparés	IT	■ prescrit par la NF C 15-100 § 413.5
	TNS	■ prescrit par les informaticiens
sources de remplacement	TT	■ équivalent au TNS mais courant de défaut d'isolement réduit
	IT	■ conseillé pour la continuité de service
	TNS	■ possible, mais attention au réglage des protections
	TT	■ conseillé

## 12. Liens utiles

<http://perso.wanadoo.fr/xcotton/electron/coursetdocs.htm#Electrotechnique>

<http://sitelec2.free.fr/schneider/schemasneutre.pdf>

<http://enselec.team-santonum.com/>

<http://www.ac-poitiers.fr/voir.asp?r=141>

<http://stielec.ac-aix-marseille.fr/>

<http://sti.tice.ac-orleans-tours.fr/spip/-Ressources-Pedagogiques-.html>

<http://www.iufmrese.cict.fr/>

<http://www.geea.org/>

<http://users.pandora.be/educyclopedia/electronics/safety.htm>

<http://perso.wanadoo.fr/get-couffignal/index.html>

<http://perso.netpratique.fr/michel.martin47/electr/elect.htm>

<http://www.schneider-electric.com/> (Cahier Technique N°173)

[http://www1.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/inrs01\\_search\\_view\\_view/70B6C678BB9C4314C1256D4A002DC36D/\\$FILE/print.html#electrisationelectrocutions](http://www1.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/inrs01_search_view_view/70B6C678BB9C4314C1256D4A002DC36D/$FILE/print.html#electrisationelectrocutions)