



ROYAUME DU MAROC

مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل

Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail
DIRECTION RECHERCHE ET INGENIERIE DE FORMATION

**RESUME THEORIQUE
&
GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES**

**MODULE N°: 8 INSTALLATION D'UNE PRISE
DE TERRE**

SECTEUR : ELECTROTECHNIQUE

**SPECIALITE : ELECTRICITE
DE BÂTIMENT**

NIVEAU : SPECIALISATION

PORTAIL DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE AU MAROC

Télécharger tous les modules de toutes les filières de l'OFPPT sur le site dédié à la formation professionnelle au Maroc : www.marocetude.com

Pour cela visiter notre site www.marocetude.com et choisissez la rubrique :

[MODULES ISTA](#)



The screenshot shows the website's navigation bar with the following menu items: HOME, LIVRES, **MODULES ISTA**, ANNUAIRE ECOLES, DOCTORAT, LETTRE DE MOTIVATION, NOUS CONTACTER, SE CONNECTER. The logo 'Maroc Etude.Com' is displayed in a stylized font, with the tagline 'Connaissance - Métier - Technique' below it. A search bar is located on the right side of the navigation bar. The main content area features a central advertisement for MacKeeper with a '-20%' discount and a coupon code. To the left is a login section with fields for 'Identifiant' (containing 'sniper') and 'Mot de passe', and a 'Connexion' button. To the right is a sidebar with a search bar and a list of links under the heading 'Annonces Google', including 'Jeu De Jeux', 'Jeux Sur Internet', 'Ecole Ingénieur', 'Dépanner et configurer votre réseau à domicile', '(Outil de Diagnostic)', 'Wi-Fi / Ethernet', 'Console de jeu', 'Imprimante', and 'Messagerie'.

Document élaboré par :

Nom et prénom

EFP

DR

KISSIOVA-TABAKOVA
Raynitchka

CDC Génie
Electrique

DRIF

Révision linguistique

-
-
-

Validation

-
-
-

SOMMAIRE

Présentation du Module.....	6
RESUME THEORIQUE.....	7
1. DEFINITION DES ELEMENTS DES SCHEMAS DE LIAISON A LA TERRE.....	8
1.1. Définition selon les normes NF C 15-100 et CE 479-1/2.....	9
1.1.1. Effets du courant passant par le corps humain.....	9
1.1.2. Protection contre les contacts directs quel que soit le régime de neutre	11
1.1.3. Protection contre les contacts indirects	14
1.2. Schémas de liaison à la terre	16
1.2.1. Neutre à la terre.....	19
1.2.2. Neutre isolé IT	20
1.2.3. Régime TN.....	21
1.3. Définition de la protection.....	24
1.3.1. Conditions générales de protection	24
1.3.2. Principe de la protection dans le régime TT	25
1.3.3. Conducteur de protection	26
1.3.4. Elévation du potentiel des masses	28
1.3.5. Déclencheur à courant résiduel	29
1.4. Définition de la prise de terre	34
1.4.1. Organisation du circuit de terre.....	35
1.4.2. Valeur de la résistance de terre	37
1.5. Liaisons équipotentielles	38
1.5.1. Liaison équipotentielle principale	38
1.5.2. Liaison équipotentielle supplémentaire.....	40
1.5.3. Liaison équipotentielle supplémentaire locale de la salle d'eau.....	41
1.5.4. Liaison équipotentielle locale non reliée à la terre	43
2. TRAVAUX DE REALISATION D'UNE PRISE DE TERRE	44
2.1. Identification de l'emplacement d'une prise de terre	45
2.2. Modes de réalisation d'une prise de terre	46
2.2.1. Boucle à fond de fouille	46
2.2.2. Un ou plusieurs piquets	47
2.2.3. Autres solutions	48
2.3. Vérification des installations lors de mise en service.....	50
2.3.1. Nature des vérifications	50
2.3.2. Mesure des résistances d'isolement.....	50
2.3.3. Vérification de la résistance d'une prise de terre	51
2.3.4. Vérification de la continuité des circuits de protection (terre).....	52
2.4. Outils de travail.....	52
2.5. Règles de sécurité au travail	55
GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES.....	56
TP1 – Définition selon les normes NF C 15-100 et CE 479-1/2.....	57
TP 2 – Organisation du circuit de terre	60
TP3 – Liaisons équipotentielles	62
TP4 – Mode de réalisation d'une prise de terre	65
EVALUATION DE FIN DE MODULE.....	69
Liste des références bibliographiques	72

MODULE : 8

INSTALLATION D'UNE PRISE DE TERRE

Durée : 30 heures

**OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU
DE COMPORTEMENT**

COMPORTEMENT ATTENDU

*Pour démontrer sa compétence l'apprenti doit **installer une prise de terre** selon les conditions, les critères et les précisions qui suivent.*

CONDITIONS D'EVALUATION

Individuellement

A l'aide des appareils

A partir de

- *questionnaires à compléter*
- *situations simulées.*

CRITERES GENERAUX DE PERFORMANCE

Choix et utilisation adéquats de prise de terre

Respect des limites d'utilisation

Respect des règles de santé et de sécurité.

**OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU
DE COMPORTEMENT**

**PRECISIONS SUR LE
COMPORTEMENT ATTENDU**

**CRITERES PARTICULIERS DE
PERFORMANCE**

A) Réaliser la prise de terre

- ✓ Choix de prise de terre
- ✓ Respect de normes de prise de terre.

B) Utiliser les outils de travail

- ✓ Manipulation adéquate
- ✓ Respect des normes d'utilisation
- ✓ Respect des règles de sécurité

C) Mesurer la résistance de la prise de terre.

- ✓ Manipulation adéquate
- ✓ Respect des normes d'utilisation
- ✓ Respect des règles de sécurité

D) Relier les éléments conducteurs à la terre

- ✓ Choix de dispositif de protection
- ✓ Choix des éléments à relier
- ✓ Respect des règles de sécurité.

E) Ranger les outils, les équipements et les appareils

- ✓ Rangement approprié et propreté des lieux.

OBJECTIS OPERATIONNELS DE SECOND NIVEAU

l'apprenti DOIT MAITRISER LES SAVOIRS, SAVOIR FAIRE, SAVOIR PERCEVOIR OU SAVOIR ETRE JUGE PREALABLES AUX APPRENTISSAGES DIRECTEMENT REQUIS POUR L'ATTEINTE DE L'OBJECTIF DE PREMIER NIVEAU, TELS QUE :

Avant d'apprendre à réaliser une prise de terre l'apprenti doit (A) :

1. Définir la mise à la terre
2. Identifier la résistance de la prise de terre
3. Identifier la constitution de la prise de terre

Avant d'apprendre à utiliser les outils de travail l'apprenti doit (B) :

4. Identifier l'emplacement de la prise de terre (nature du sol)
5. Identifier et décrire les outils de travail
6. Enumérer les règles de sécurité

Avant d'apprendre à effectuer les mesures de résistance de terre l'apprenti doit (C) :

7. Définir le rôle de l'utilisation des appareils de mesure de résistance de terre
8. Définir la valeur de la prise de terre

Avant d'apprendre à relier les éléments conducteur à la terre l'apprenti doit (D) :

9. Identifier et définir les liaisons de la prise de terre aux masses
10. Identifier et définir les liaisons équipotentielles
11. Identifier et définir les dispositifs différentiels
12. Identifier et définir les installations à prises de terre non reliées.

Avant d'apprendre à ranger les outils, les équipements et les appareils l'apprenti doit (E) :

13. Développer les méthodes de rangement efficace et sécuritaire

Présentation du Module

« **Installation d'une prise de terre** » est le module qui donne aux apprentis de la spécialité « Électricien de bâtiment » les notions de base des systèmes de protection des installations électriques et des personnes et les règles de pose d'une prise de terre nécessaire pour le fonctionnement correct de cette protection. L'objectif de ce dernier est non seulement d'informer l'apprenti sur la matière mais aussi de lui proposer la suite adéquate des consignes à suivre afin d'obtenir des habilités durables au travail pour arriver à des manipulations sécurisées dans le domaine.

***Module 8 : INSTALLATION D'UNE
PRISE DE TERRE
RESUME THEORIQUE***

1. DEFINITION DES ELEMENTS DES SCHEMAS DE LIAISON A LA TERRE

L'utilisation de l'énergie électrique a pratiquement débuté en 1900. Aujourd'hui les normes d'installation électrique sont très développées et traitent tous les aspects importants pour la réalisation d'une installation correcte. En BT, la norme de référence est la CEI 364 et en France la NF C 15-100.

- Elle définit les règles d'établissement et de maintien des installations BT de façon à assurer :

- ⇒ La sécurité des personnes et des animaux.
- ⇒ La conservation des biens.
- ⇒ La non perturbation du réseau de distribution publique.

- Elle comprend six parties :

- 1- Domaine d'application, objets, prescriptions fondamentales.
- 2- Définitions des termes utilisés.
- 3- Détermination des caractéristiques générales des installations.
- 4- Protection pour assurer la sécurité.
- 5- Choix et mise en œuvre du matériels.
- 6- Vérification et entretien des équipements.

Les normalisateurs ont porté une attention toute particulière aux dispositions à mettre en œuvre pour assurer la protection des personnes et des biens (partie 4 des normes suscitées). Cette préoccupation a conduit à la normalisation de trois **Schémas de Liaisons à la Terre - SLT** – encore appelés régimes du neutre. Avant de rappeler ce que sont ces trois schémas, il est intéressant de faire un petit rappel historique.

Dans tous les pays industrialisés, les réseaux et récepteurs BT sont mis à la terre pour des raisons de sécurité face au danger que représente le courant électrique pour les personnes. Les objectifs sont toujours les mêmes :

- Fixer le potentiel des conducteurs actifs par rapport à la terre en fonctionnement normal ;
- Limiter la tension entre les masses des matériels électriques et la terre en cas de défaut d'isolement ;
- Mettre en œuvre des dispositifs de protection qui suppriment le risque d'électrisation, voire d'électrocution des personnes; limiter les montées en potentiel dues aux défauts d'origine MT.

1.1. Définition selon les normes NF C 15-100 et CE 479-1/2

1.1.1. Effets du courant passant par le corps humain

Les dangers encourus par les personnes traversées par un courant électrique dépendant essentiellement de son intensité et du temps de passage. Ce courant dépend de la tension de contact qui s'applique sur cette personne, ainsi que de l'impédance rencontrée par ce courant lors de son cheminement au travers du corps humain. Cette relation n'est pas linéaire, car cette impédance dépend du trajet au travers du corps, de la fréquence du courant et de la tension de contact appliquée, ainsi que de l'état de l'humidité de la peau.

On spécifie les valeurs suivantes :

- *seuil de perception* : la valeur minimale du courant qui provoque une sensation pour une personne à travers laquelle le courant passe. Il est de l'ordre de 0,5 mA.
- *seuil de non lâcher* : la valeur maximale du courant pour laquelle une personne tenant des électrodes peut les lâcher. Généralement il est considéré à 10 mA.

- seuil de fibrillation ventriculaire du cœur humain : ce seuil dépend de la durée de passage du courant. Il est considéré égal à 400 mA pour une durée d'exposition inférieure à 0,1 s.

Les effets physiologiques du courant électrique sont récapitulés dans le graphique ci-dessous (fig. 1-1).

Résumé des conséquences du passage du courant dans l'organisme

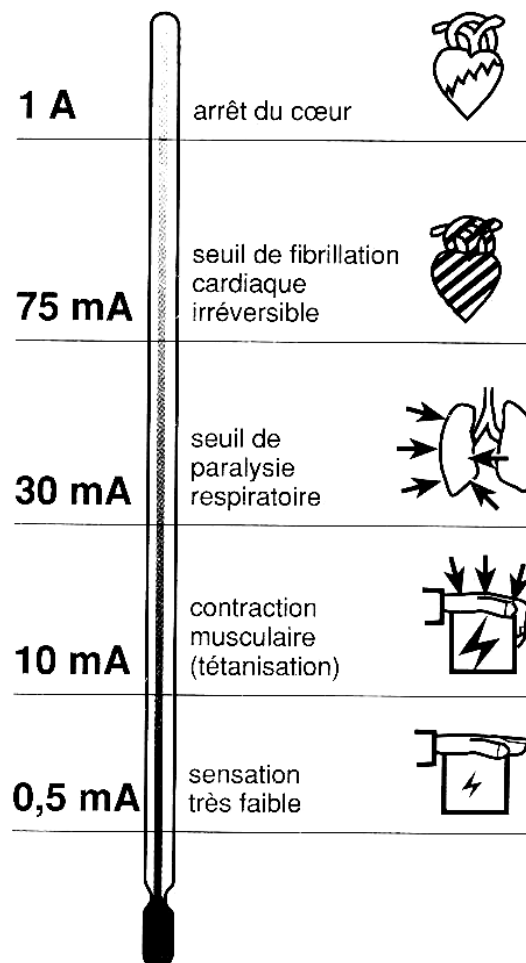


Fig. 1-1

Plus la fréquence du courant augmente, plus les risques de fibrillation ventriculaire diminuent : par contre, les risques de brûlure augmentent. Mais, plus la fréquence du courant augmente (entre 200 et 400 Hz), plus l'impédance du corps humain

diminue. Il est généralement considéré que les conditions de protection contre les contacts indirects sont identiques à 400 Hz et à 50/60 Hz.

Le courant continu apparaît comme moins dangereux que le courant alternatif : en effet, il est moins difficile de lâcher des parties tenues à la main qu'en présence de courant alternatif. En courant continu, le seuil de fibrillation ventriculaire est beaucoup plus élevé.

Le développement des commandes électroniques risque de créer, en cas de défaut d'isolement, des courants dont la forme est composée de courant alternatif auquel se superpose une composante continue (courants de formes d'onde spéciales). Les effets de ces courants sur le corps humain sont intermédiaires entre ceux du courant alternatif et ceux du courant continu.

Les courants d'impulsion unique de courte durée sont issus des décharges de condensateurs et peuvent présenter certains dangers pour les personnes en cas de défaut d'isolement. Le facteur principal qui peut provoquer une fibrillation ventriculaire est la valeur de la quantité d'électricité $I.t$ ou d'énergie $I^2.t$ pour des durées de choc intérieures de 10 ms. Le seuil de douleur dépend de la charge de l'impulsion et de sa valeur de crête.

1.1.2. Protection contre les contacts directs quel que soit le régime de neutre

Les parties actives peuvent être les conducteurs actifs, les enroulements d'un moteur ou transformateur ou les pistes de circuits imprimés.

Le courant peut circuler soit d'un conducteur actif à un autre en passant par le corps humain, soit d'un conducteur actif vers la terre puis la source, en passant par le corps humain. Dans le premier cas, la personne doit être considérée comme une charge monophasé, et dans le deuxième cas comme un défaut d'isolement.

Ce qui caractérise le contact direct est l'absence ou la non-influence d'un conducteur de protection dans l'analyse des protections contre les contacts directs à mettre en œuvre (fig. 1-2). Quel que soit le régime de neutre dans le cas d'un contact direct, le courant qui retourne à la source est celui qui traverse le corps humain.

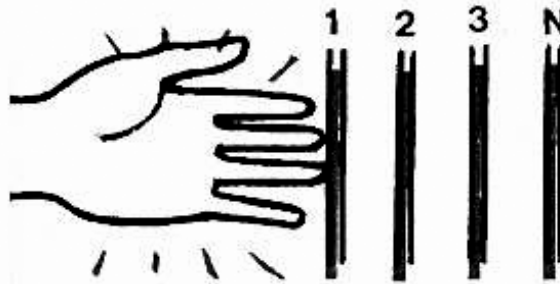


Fig. 1-2

Les moyens à mettre en œuvre pour protéger les personnes contre les contacts directs sont de plusieurs types selon la norme NF C 15-100 :

- a) *Dispositifs rendant non dangereux le contact direct* : utilisation de la Très Basse Tension (TBTS, TBTP), limitée à 25 V (contraintes de mise en œuvre, puissances véhiculées faibles).
 - b) *Moyens préventifs* :
- isolation des parties actives : boîtier isolant d'un disjoncteur, isolant extérieur d'un câble, etc.

Lors du choix d'un matériel isolant, il faut s'assurer aussi qu'il convient du point de vue de la protection contre les contacts indirects, qu'il possède les caractéristiques correspondant aux risques auxquels il peut être soumis. La classification ci-dessous ne s'applique qu'aux appareils d'utilisation à usage domestique ou analogue, aux transformateurs de sécurité et à certains matériels d'utilisation à usage industriel.

- *Classe 0* : matériels ayant une isolation sur toutes les parties accessibles ;
- *Classe 0I* : matériels isolés comme ceux de la classe 0, mais comportant une borne de terre ;

- *Classe I* : matériels ayant une isolation fonctionnelle en toutes leurs parties et permettant de relier les pièces métalliques accessibles à un conducteur de protection branché à une borne de terre ;
- *Classe II* : Si ces matériels comportent des parties métalliques accessibles, celles-ci ne doivent pas être mises à la terre. Les parties actives de ces matériels sont séparées des parties accessibles par une double isolation.

Du point de vue de la protection contre les contacts directs, la norme C 15-100 répartit les outils portatifs à main en trois classe :

- Outils de la *classe I*, ayant une isolation fonctionnelle en toutes ses parties ;
 - Outils de la *classe II*, dont les parties accessibles sont séparées des parties actives par une isolation renforcée ;
 - Outils de la *classe III*, prévus pour être alimentés sous une tension n'excédant pas 50 V, soit 42 V de tension nominale maximale, pour ceux destinés à être alimentés en très basse tension.
- barrières ou enveloppes (coffrets ou armoires de degré de protection minimum IP 2x ou IP xx.B). L'ouverture de ces enveloppes ne se fait qu'avec une clé ou un outil, ou après mise hors tension des parties actives, ou encore avec interposition automatique d'un autre écran.

Dans la norme NF C 20-010, les degrés de protection divers sont symbolisés par 3 chiffres précédés des lettres IP (fig. 1-3).

Les trois dessins extraits de la norme NF C20-010 concernent les degrés de protection des enveloppes des matériels électriques, jusqu'à 1000 V en courant alternatif et 1500 V en courant continu : à gauche, essai IP 1, au centre IP *4, à droite essai IP **9 (voir le tableau ci-dessous). Un appareil répondant à ces 3 essais aurait la référence IP 149.

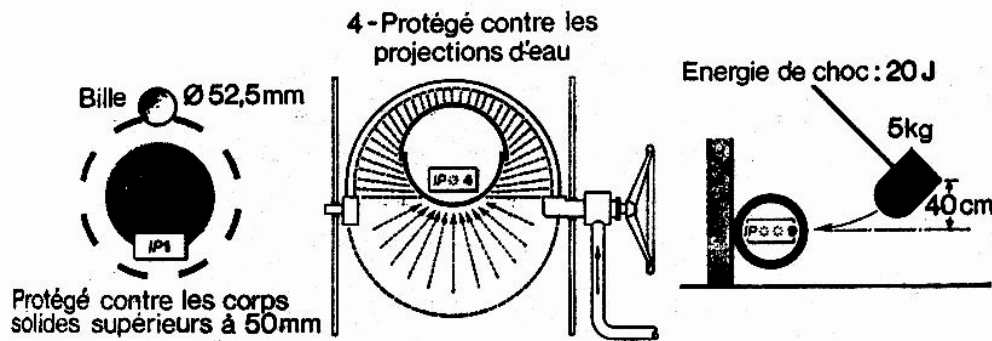


Fig. 1-3

- éloignement ou obstacles pour mise hors de portée : protection partielle utilisée principalement dans les locaux de services électriques.

c) Protection complémentaire

Cependant certaines installations peuvent présenter des risques particuliers, malgré la mise en œuvre des dispositions précédentes : isolation risquant d'être défectueuse (chantiers, enceintes conductrices), conducteur de protection absent ou pouvant être coupé, etc.

Dans ce cas, la norme NF C 15-100 définit une protection complémentaire : c'est l'utilisation de dispositifs différentiels à courant résiduel (DDR) à haute sensibilité ($I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$). Ces DDR assurent la protection des personnes en décelant et coupant le courant de défaut dès son apparition.

1.1.3. Protection contre les contacts indirects

La norme NF C 15-100 définit le contact indirect comme suit : « contact de personnes ou d'animaux domestiques ou d'élevage avec des masses mises sous tension par suite d'un défaut d'isolement ».

Les masses sous tension peuvent être l'enveloppe extérieure d'un moteur, d'un tableau électrique, d'un appareillage domestique (fig. 1-4). Elles sont métalliques ou conductrices renfermant des parties actives sous tension. Elles ne doivent pas être

confondues avec les masses électriques propres au fonctionnement des ensembles électriques et sont reliées à la terre par l'intermédiaire d'un conducteur de protection (PE). En l'absence d'un défaut d'isolement, ces masses électriques doivent être à un potentiel nul par rapport à la terre, car elles sont accessibles normalement à toute personne non habilitée. En cas de défaut d'isolement, cette masse est en contact avec une partie active, et le courant circulant au travers du défaut et de la masse rejoint la terre, soit par le conducteur de protection, soit par une personne en contact. *La caractéristique d'un contact indirect est que le courant de défaut ne circule jamais intégralement au travers du corps humain.*

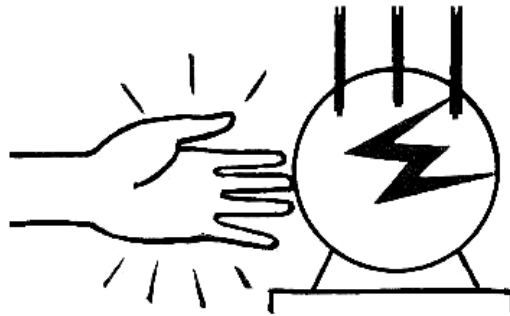


Fig. 1-4

Elles sont de deux types selon la NF C 15-100 :

- protection sans coupure de l'alimentation : emploi de la très basse tension (TBTS, TBTP), séparation électrique des circuits, emploi de matériel de classe II, isolation supplémentaire de l'installation, éloignement ou interposition d'obstacles, liaisons équipotentielles locales non reliées à la terre.
- protection par coupure automatique de l'alimentation : elle s'avère nécessaire, car les mesures de protection précédentes ne sont en pratique que locales.

Cette protection par coupure automatique n'est réelle que si deux conditions suivantes sont réalisées :

- *1ère condition* : toutes les masses et les éléments conducteurs accessibles doivent être interconnectés et reliés à la terre. Deux

masses simultanément accessibles doivent être reliées à une même prise de terre.

- 2ème condition (quand la première est réalisée) : la coupure doit s'effectuer par mise hors tension automatique de la partie de l'installation où se produit un défaut d'isolement, de manière à ne pas soumettre une personne à une tension de contact U_c (fig. 1-5) pendant une durée telle qu'elle soit dangereuse. Plus cette tension est élevée, plus la mise hors tension de cette partie d'installation en défaut doit être rapide. Cette mise hors tension de l'installation se fait différemment selon le schémas des liaisons (régimes de neutre TT, TN ou IT).

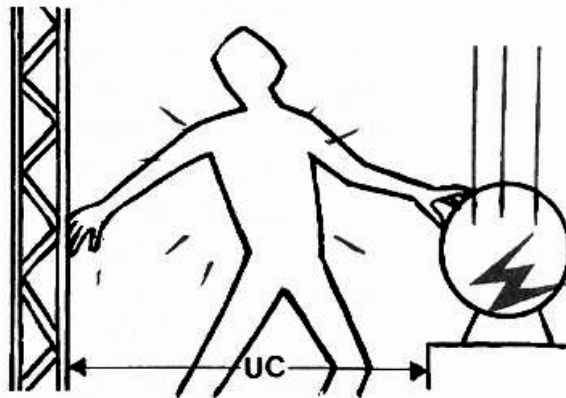


Fig. 1-5

La norme NF C 15-100 définit le temps de coupure maximal du dispositif de protection dans les conditions normales ($U_L = 50 \text{ V}$) et dans les conditions mouillées ($U_L = 25 \text{ V}$). U_L est la tension de contact la plus élevée qui peut être maintenue indéfiniment sans danger pour les personnes.

1.2. Schémas de liaison à la terre

Après avoir rappelé les risques liés aux défauts d'isolement des installations portant atteinte à la sécurité des personnes et des biens, ce paragraphe présente les trois SLT définis par les normes CEI 364 et NF C 15-100. Chaque schéma de liaison à la terre (SLT), encore appelé régime de neutre, est examiné en terme de sécurité et

de disponibilité, ainsi que vis-à-vis de la protection contre les surtensions et les perturbations électromagnétiques.

Le schéma de liaison à la terre (SLT) en BT caractérise le mode de raccordement à la terre du secondaire du transformateur HT/BT et les manières de mettre à la terre les masses de l'installation.

L'identification des types de schémas est ainsi définie au moyen de 2 lettres :

- la première pour le raccordement du neutre du transformateur :
 - T** - pour "raccordé à la terre",
 - I** - pour "isolé de la terre".
- la deuxième pour le type de raccordement des masses d'utilisation :
 - T** - pour "raccordé directement" à la terre ;
 - N** - pour "raccordé au neutre" à l'origine de l'installation, lequel est raccordé à la terre.

Il existe, pour les réseaux BT, trois types de schémas des liaisons à la terre, communément appelés régimes de neutre (fig. 1-6) :

- neutre à la terre **TT**
- mise au neutre **TN** avec deux variantes :
 - TN - S** : neutre et PE séparés ;
 - TN - C** : neutre et PE confondus.
- neutre isolé (ou impédant) **IT**.

Ils diffèrent par la mise à la terre ou non du point neutre de la source de tension et le mode de mise à la terre des masses. La combinaison de ces deux lettres donne trois configurations possibles :

si **T** > **T** ou **N**,
si **I** > **T**

soit : **TT, TN et IT.**

neutre du transformateur > masse

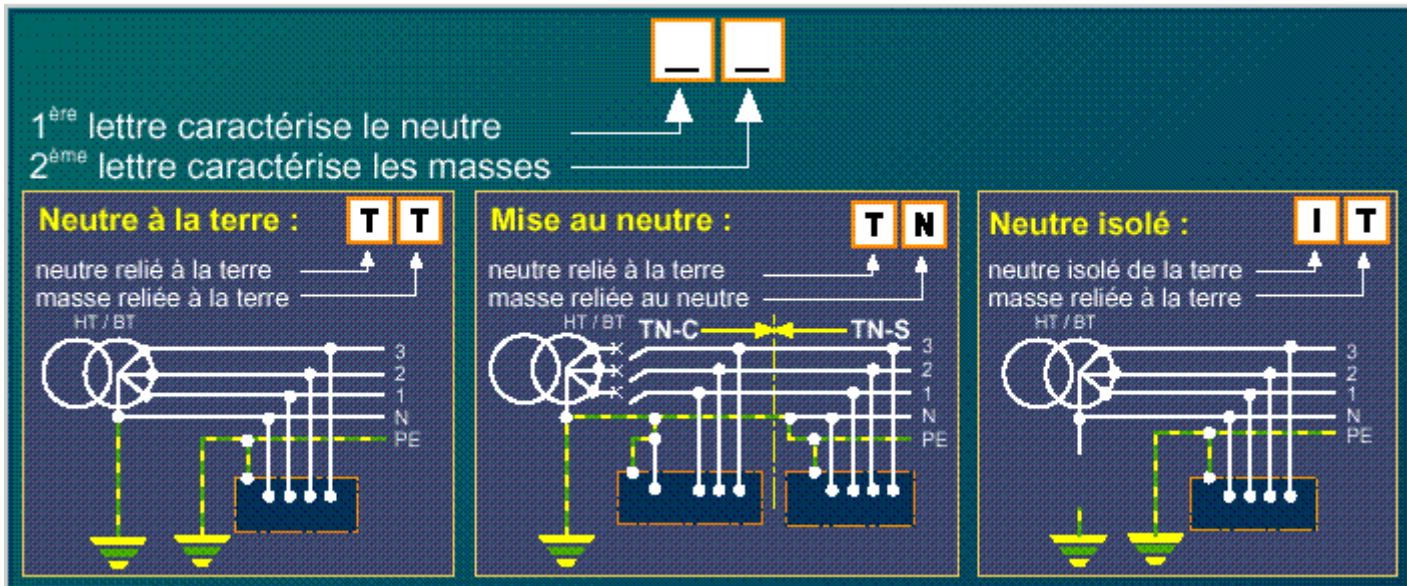


Fig. 1-6

La troisième lettre donne la situation respective du conducteur neutre et du conducteur de protection (TN – S et TN – C).

Le schéma **TN**, selon la CEI 364 et la norme NF C 15-100, comporte plusieurs sous-schémas :

- **TN - C** : si les conducteurs du neutre N et du PE sont confondus (PEN) ;
- **TN - S** : si les conducteurs du neutre N et du PE sont distincts ;
- **TN - C - S** : utilisation d'un TN - S en aval d'un TN - C, (l'inverse est interdit).

A noter que le TN - S est obligatoire pour les réseaux ayant des conducteurs de section 10 mm² en cuivre.

Chaque SLT peut s'appliquer à l'ensemble d'une installation électrique BT; mais plusieurs SLT peuvent coexister dans une même installation.

Les règles de protection des personnes contre les contacts directs sont indépendantes des Systèmes de Liaison à la terre.

Par contre ils ont des avantages et des inconvénients qu'il faut adapter aux besoins de l'installation. Que ce soit dans le tertiaire ou l'industrie, les besoins évoluent et il devient fondamental de faire le choix du bon schéma de liaison à la terre, dans la stricte application des règles de l'art, pour assurer la coexistence "courants forts / courants faibles" et la satisfaction de l'exploitant.

1.2.1. Neutre à la terre

Le point neutre du transformateur est relié directement à la terre. Les masses d'utilisation sont reliées à la prise de terre de l'installation (fig. 1-7).

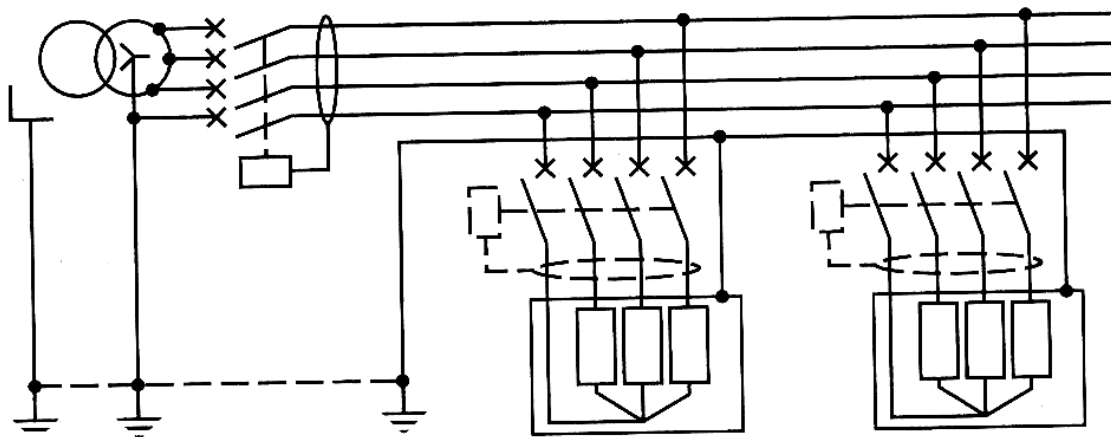


Fig. 1-7

L'intensité du courant de défaut d'isolement est limitée par les résistances de prise de terre. Les masses d'utilisation sont mises à la terre par le conducteur PE distinct du conducteur neutre. Ce schéma représente la solution la plus simple à l'étude et à l'installation.

La protection est assurée par déclenchement obligatoire au premier défaut d'isolement, éliminé par un dispositif différentiel à courant résiduel situé en tête de l'exploitation (et/ou éventuellement sur chaque départ pour améliorer la sélectivité).

Il n'existe aucune exigence particulière sur la continuité du conducteur neutre. Les extensions peuvent se faire sans calcul des longueurs de canalisation.

Ce schéma ne nécessite pas une permanence de surveillance en exploitation, il suffit de prévoir seulement un contrôle périodique des dispositifs différentiels résiduels.

1.2.2. Neutre isolé IT

Le point neutre du transformateur est isolé de la terre ou impédant (fig. 1-8). Les masses d'utilisation sont interconnectées et reliées à une même prise de terre (si la prise de terre des masses du poste est séparée des masses d'utilisation ou s'il y a plusieurs prises de terre pour les masses d'utilisation, il faut installer un dispositif différentiel à courant résiduel en tête d'installation).

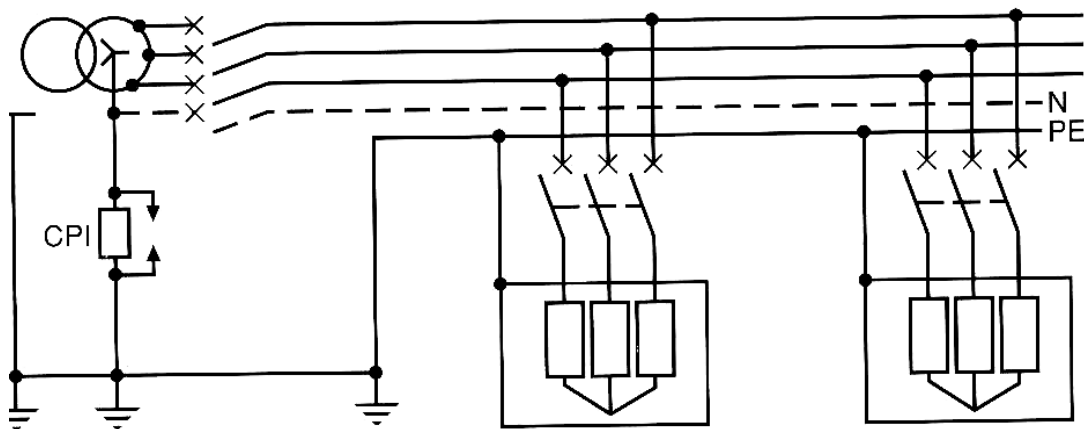


Fig. 1-8

Les masses d'utilisation sont mises à la terre par le conducteur PE distinct du conducteur de neutre.

L'intensité du courant de 1^{er} défaut d'isolement ne peut pas créer une situation dangereuse. Le premier défaut d'isolement n'est ni dangereux, ni perturbateur et il

n'est pas obligatoire de déclencher au premier défaut ce qui permet d'assurer une meilleure continuité de service.

Il est obligatoire de prévoir une signalisation du premier défaut d'isolement suivie de sa recherche et de son élimination réalisée par un Contrôleur Permanent d'Isolement (CPI) installé entre le neutre et la terre.

L'intensité du courant de double défaut d'isolement est importante. Au deuxième défaut d'isolement le déclenchement est obligatoire par les dispositifs de protection contre les surintensités et il faut effectuer une vérification de ce fait.

Le schéma IT est la solution assurant la meilleure continuité de service d'exploitation, mais il nécessite un personnel d'entretien disponible pour la recherche et l'élimination du 1er défaut d'isolement.

Il existe une nécessité d'installer des récepteurs de tension d'isolement phase / masse supérieure à la tension composée (cas du 1^{er} défaut).

Les récepteurs à faible résistance d'isolement (fours à induction) impliquent une fragmentation du réseau.

1.2.3. Régime TN

Le point neutre du transformateur est relié directement à la terre. Les masses d'utilisation sont reliées au neutre du transformateur avec un conducteur de protection (PE), d'où avec la prise de terre (fig. 1-9).

Le point de neutre du transformateur et le conducteur PE sont reliés directement à la terre. Les masses d'utilisation sont reliées au conducteur PE et lui-même est relié à la terre. Les conducteurs de neutre N et de protection PE sont séparés (régime TN-S).

L'intensité des courants de défaut d'isolement est importante, d'où les perturbations et des risques d'incendie accrus. Le déclenchement est obligatoire au premier défaut d'isolement par les dispositifs de protection contre les surintensités.

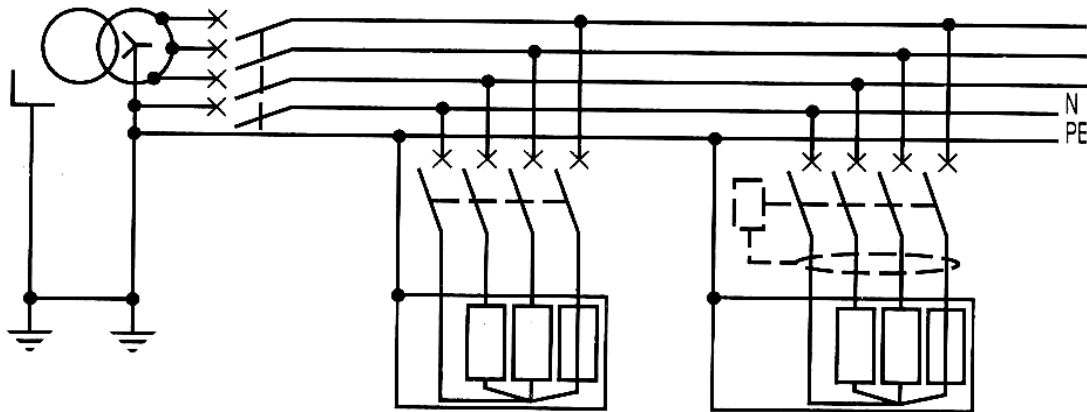


Fig. 1-9

Il est délicat de tester le bon état de fonctionnement des protections. L'utilisation des DDR pallie cette difficulté. L'usage des DDR est toujours recommandé pour la protection des personnes contre les contacts indirects, en particulier en distribution terminale, où l'impédance de boucle ne peut pas être maîtrisée.

La vérification des déclenchements doit être effectuée :

- à l'étude par le calcul ;
- obligatoirement à la mise en service ;
- périodiquement (tous les ans) par des mesures.

En cas d'extension ou de rénovation ces vérifications de déclenchement sont à refaire.

Le point de neutre du transformateur et le conducteur PE peuvent être aussi reliés directement à la terre (fig. 1-10). Les masses d'utilisation sont reliées au conducteur PE et lui-même est relié à la terre. Les conducteurs de neutre N et de protection PE sont **confondus** (régime TN-C).

L'intensité des courants de défaut d'isolement est importante, d'où les perturbations et des risques d'incendie accrus. Le déclenchement est obligatoire au premier défaut d'isolement par les dispositifs de protection contre les surintensités.

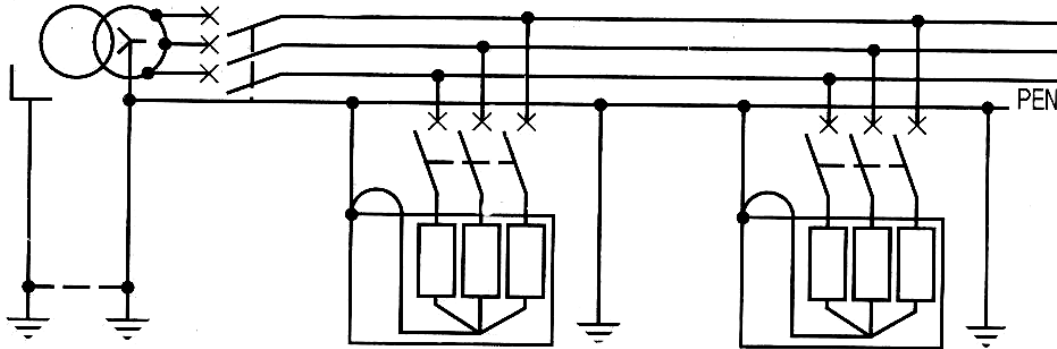


Fig. 1-10

La circulation des courants de neutre dans les éléments conducteurs du bâtiment et les masses, est à l'origine d'incendies et pour les matériels sensibles (médical, informatique, télécommunications) de chutes de tension perturbatrices.

L'usage des DDR est toujours recommandé pour la protection des personnes contre les contacts indirects, en particulier en distribution terminale, où l'impédance de boucle ne peut pas être maîtrisée (passage en TN-S).

La vérification des déclenchements doit être effectuée :

- à l'étude par le calcul ;
- obligatoirement à la mise en service ;
- périodiquement (tous les ans) par des mesures.

En cas d'extension ou de rénovation ces vérifications de déclenchement sont à refaire. Il est délicat de tester le bon fonctionnement des protections (l'utilisation des DDR pallie cette difficulté, mais demande un passage en TN-S).

1.3. Définition de la protection

1.3.1. Conditions générales de protection

La mesure de protection par coupure automatique de l'alimentation est destinée à empêcher qu'à la suite d'un **défaut d'isolement**, une personne puisse se trouver soumise à une **tension de contact** dangereuse pendant un temps tel qu'il puisse en résulter des dommages organiques.

Pour respecter cette règle, tout défaut, survenant dans un matériel électrique provoque la circulation d'un courant qui doit être interrompu dans un temps compatible avec la sécurité des personnes.

Il en résulte que cette mesure de protection repose sur l'association de deux conditions :

- la **réalisation ou l'existence d'un circuit dénommé boucle de défaut** pour permettre la circulation du courant de défaut.
- la **coupure du courant de défaut par un dispositif de protection approprié** dans un temps dépendant de certains paramètres tels que :
 - la tension de contact à laquelle peut être soumise une personne,
 - la probabilité de défauts et de contacts avec les parties en défaut.

La constitution de la boucle de défaut dépend du **schéma des liaisons à la terre** : **TT, TN ou IT**.

Pour toute valeur de tension de contact présumée supérieure :

- à **50 V en courant alternatif** (valeur efficace) ou à **120 V en courant continu** lisse (taux d'ondulation non supérieur à 10% en valeur efficace), **dans des locaux secs** ;
- à **25 V en courant alternatif** ou à **60 V en courant continu** lisse, **dans des locaux mouillés**,

le dispositif de protection doit séparer automatiquement de l'alimentation le circuit ou le matériel protégé dans un temps au plus égal aux valeurs du tableau 1-1.

Tableau 1-1

Tension de contact présumée, V	Temps de coupure maximal du dispositif de protection, s	
	$U_L = 50 \text{ V}$	$U_L = 25 \text{ V}$
25	5	5
50	5	0,48
75	0,60	0,30
90	0,45	0,25
110	-	0,18
120	0,34	-
150	0,27	0,12
220	0,17	-
230	-	0,05
280	0,12	0,02
350	0,08	-
500	0,04	-

Le temps de coupure est basé sur la connaissance des effets du courant électrique sur le corps humain.

1.3.2. Principe de la protection dans le régime TT

Le régime TT est imposé dans les installations alimentées directement par un réseau de distribution publique à basse tension.

Dans une installation électrique l'ensemble des parties métalliques des récepteurs, normalement isolés des conducteurs électriques, constitue les **masses d'utilisation**.

Dans le régime **TT toutes les masses** des matériels électriques de l'installation et tous les éléments conducteurs accessibles doivent être respectivement **reliés à la terre, par un conducteur de protection PE** (protection équipotentielle).

Deux masses, ou une masse et un élément conducteur, simultanément accessibles doivent être reliés à même prise de terre (fig. 1-11).

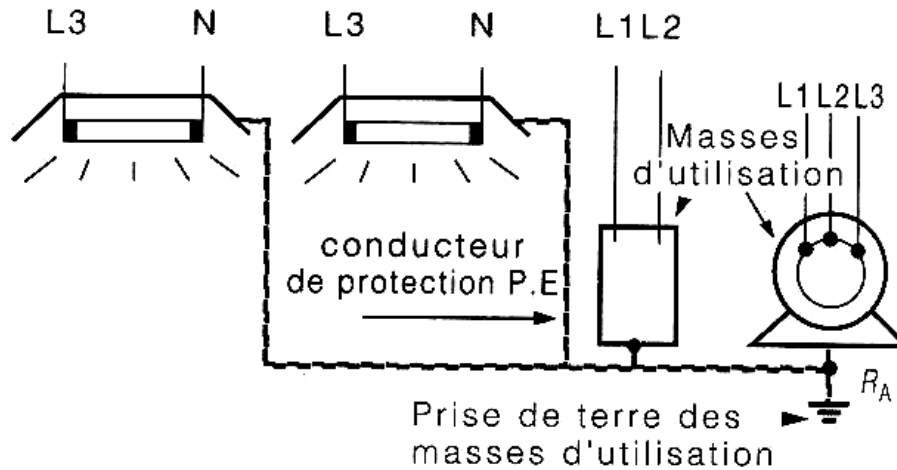


Fig. 1-11

Tous les conducteurs de protection des masses, les conducteurs de terre et éventuellement les conducteurs de liaisons équipotentielles sont reliés au **conducteur principal de protection**.

1.3.3. Conducteur de protection

Les conditions d'emploi des différents types de conducteur de protection dépendent des régimes de neutre.

Les conducteurs de protection doivent :

- ne pas comporter d'appareillage ou d'organe de coupure (coupe-circuit, disjoncteurs, relais, etc.) ;
- être protégés contre les risques de coupure par détériorations mécaniques ou chimiques ;
- être repérés par la double coloration vert/jaune ;
- assurer l'interconnexion des masses en parallèle et non en série ;
- être toujours raccordés sur la borne masse d'un récepteur en particulier pour un conducteur PEN.

De la section des conducteurs PE ou PEN dépend la valeur de l'impédance de la boucle de défaut dans le cas du régime TN et IT. Cette impédance doit rester la plus faible possible pour assurer une bonne protection.

Le tableau 1-2 précise ces sections :

- dans le cas général ;
- avec une formule de calcul qui ne peut s'appliquer que si les conditions de sécurité restent confirmées.

Formules de calcul pour PE :

- PE fait partie de la canalisation d'alimentation :

$$S_{PE} = \frac{I}{k} \sqrt{t}$$

Avec : S_{PE} – section du conducteur PE en mm^2 ;

I – intensité efficace, en ampères, du courant de défaut franc ; en pratique, $I = I$ de court-circuit au point d'installation du dispositif de protection.

k – coefficient qui dépend des caractéristiques du conducteur :

⇒ âme en cuivre : $k = 115$ (PVC) ; $k = 135$ (PRC)

⇒ âme en aluminium : $k = 74$ (PVC) ; $k = 87$ (PRC)

- PE ne fait pas partie de la canalisation d'alimentation :

$$S_{PE} = \frac{I}{\alpha} \sqrt{\frac{t}{\Delta\Theta}}$$

Avec : S_{PE} – section du conducteur PE en mm^2 ;

I – intensité efficace, en ampères, du courant de défaut franc ;

α – coefficient qui dépend de la nature du métal :

$\text{Cu} = 13$; $\text{Al} = 8,5$; $\text{Fe} = 4,5$; $\text{Pb} = 2,5$

t – temps d'élimination du défaut en secondes ;

$\Delta\Theta$ - échauffement admissible : conducteur isolé = 160°C ;

conducteur nu = 180°C

Tableau 1-2

NATURE DES CONDUCTEURS	CONDUCTEUR DE PHASE Sph (mm ²)	CONDUCTEUR PEN (mm ²)	CONDUCTEUR PE	
			Fait partie de la canalisation d'alimentation (mm ²)	Ne fait pas partie de la canalisation d'alimentation (mm ²)
CAS GÉNÉRAL	≤ 16	= Sph avec mini : • 10 si Cu • 16 si Al	= Sph	= Sph, avec mini : • 2,5 si protection mécanique; • 4 sans protection mécanique.
	16 < Sph ≤ 35	16	16	16
	> 35	Sph/2 Prendre la section normalisée la plus proche	Sph/2	Sph/2
FORMULES DE CALCUL	Quelconque	Sph/2 avec mini : • 10 si Cu • 16 si Al	$\frac{l}{k} \sqrt{t}$ (avec l égal au courant de court-circuit)	$\frac{l}{\alpha} \sqrt{\frac{t}{\Delta\theta}}$ avec l égal au courant de défaut avec mini : • 2,5 si protection mécanique; • 4 sans protection mécanique.

1.3.4. Elévation du potentiel des masses

La présence d'un défaut d'isolement provoque un **courant de défaut**. Sa valeur, limitée par l'**impédance de la boucle de défaut à la terre** ne peut être détectée par les dispositifs de protection contre les surintensités (disjoncteur ou fusible).

L'intensité I_d de ce courant de défaut est néanmoins suffisante pour élever la tension de défaut U_d de la masse à une valeur $U_d = I_d \times R_A$ (avec R_A résistance de prise de terre des masses d'utilisation). Par un contact entre cette masse et une autre simultanément accessibles (fig. 1-12), une personne est soumise à une tension de contact U_c qui peut être dangereuse dans la mesure où elle est supérieure à la valeur limite U_L . Cette tension est égale à 50 V ou 25 V, selon le type de local.

Exemple :

$R_A = 15 \Omega$ (résistance de la prise de terre des masses d'utilisation)

$R_N = 10 \Omega$ (résistance de la prise de terre du neutre)

$$I_d = \text{courant de défaut} = \frac{V}{R_A + R_N} = \frac{230}{15 + 10} = 9,2 \text{ A}$$

$$U_d = \text{tension de défaut} = R_A \times I_d = 15 \Omega \times 9,2 \text{ A} = 138 \text{ V}$$

Dans le cas d'un contact simultané avec une autre masse accessible ou d'un contact avec le sol conducteur, cette tension de défaut est une tension de contact dangereuse pour une personne.

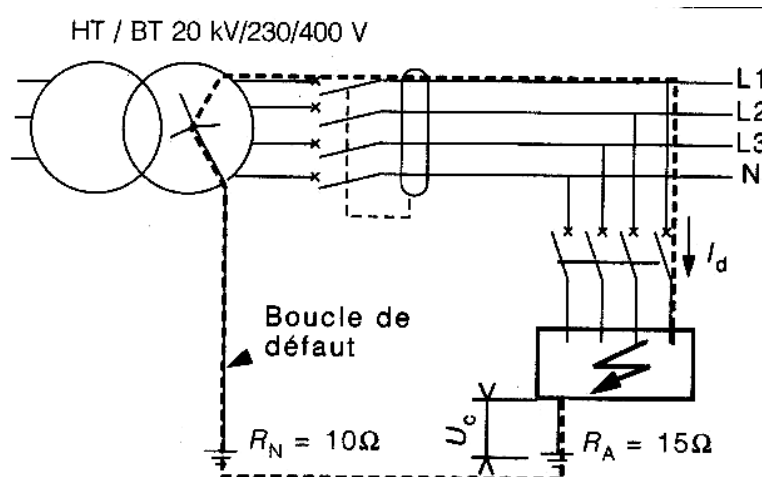


Fig. 1-12

1.3.5. Déclencheur à courant résiduel

Le déclenchement au **premier défaut** est obligatoire. Il est obtenu par un **déclencheur à courant différentiel résiduel** agissant sur un appareil de coupure.

Le principe de fonctionnement du déclencheur différentiel est basé sur la détection du courant de défaut par un **transformateur toroïdal** au travers duquel passent tous les **courants actifs** du circuit à protéger.

Pour un déclencheur différentiel monophasé (fig. 1-13) au cas d'absence du défaut le courant $I_d = 0$, donc $I_1 = I_2$. Les flux engendrés par ces deux courants sont égaux $\Phi_1 = \Phi_2$ et $\Phi_1 - \Phi_2 = 0$. Aucun flux ne circule dans le tore. Pas de courant induit dans K_1 , pas de tension aux bornes de K_2 , le dispositif fonctionne normalement (fig. 1-13a).

L'existence d'un courant de défaut $I_d \neq 0$, d'où $I_1 > I_2$, ce qui entraîne $\Phi_1 > \Phi_2$ et $\Phi_1 - \Phi_2 \neq 0$ (fig. 1-13b). Un flux circule dans le tore, **un courant est induit** dans K_1 et la bobine K_2 est excitée, les contacts s'ouvrent, le dispositif est mis **automatiquement hors tension** (fig. 1-13c).

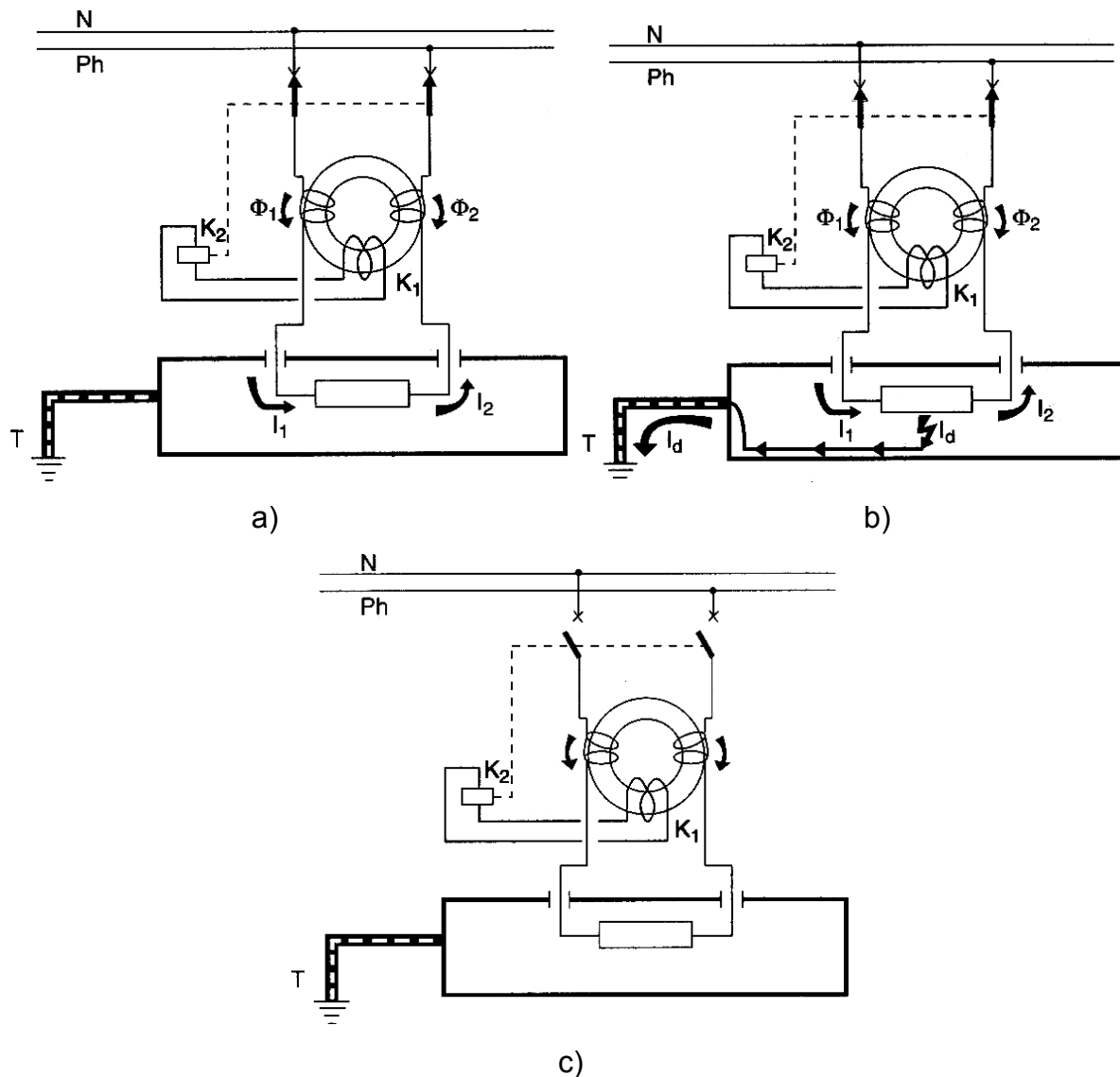


Fig. 1-13

Le déclencheur à courant différentiel résiduel, associé avec un appareil de coupure – disjoncteur, équipé d'un déclencheur thermique pour les surcharges et d'un déclencheur magnétique pour les courts-circuits, présente l'appareil de protection appelé **disjoncteur différentiel monophasé** (fig. 1-14).

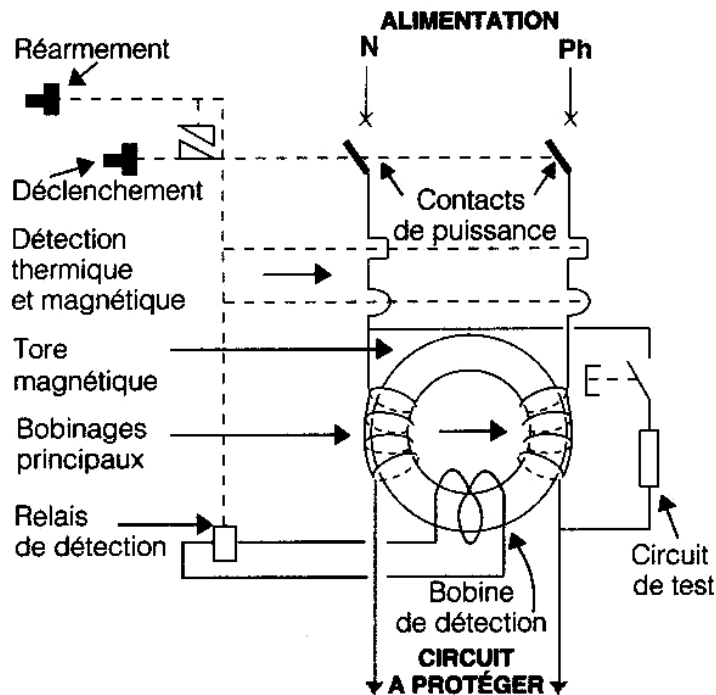


Fig. 1-14

La structure interne d'un disjoncteur différentiel tétrapolaire (fig. 1-15) est plus compliquée.

Dans ce type de disjoncteur en absence de défaut :

$$\vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 = \vec{I}_N$$

et le flux dans le tore est nul. Le dispositif fonctionne normalement.

En présence de défaut :

$$\vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 \neq \vec{I}_N$$

un flux circule dans le tore, un courant est induit dans la bobine K_1 de détection qui excite la bobine K_2 et le disjoncteur s'ouvre.

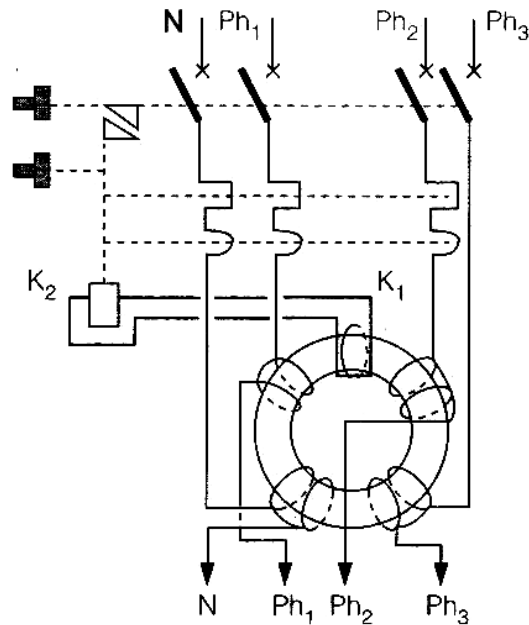


Fig. 1-15

Les caractéristiques techniques d'un disjoncteur différentiel sont déterminées pour les deux parties – l'appareil de coupure (disjoncteur) et le dispositif différentiel :

- *tension nominale* U_N , selon le réseau de branchement;
- *courant nominal* I_N , selon la puissance de l'appareil protégé ;
- *sensibilité* du dispositif différentiel $I_{\Delta n}$: La sensibilité d'un dispositif différentiel s'exprime par la valeur du courant résiduel de défaut pour lequel le dispositif s'ouvre obligatoirement. Le tableau 1-3 présente les valeurs de la sensibilité et la plage de déclenchement des dispositifs différentiels les plus utilisés.
- *temps de fonctionnement* : Le temps nécessaire à la coupure est la somme du temps de fonctionnement du dispositif différentiel à courant résiduel et du temps de coupure de l'organe de protection associé (25 ms dans le cas d'un disjoncteur).

Tableau 1-3

Sensibilité, $I_{\Delta n}$	Plage de déclenchement $I_{\Delta n} / 2$ à $I_{\Delta n}$
10 mA	entre 5 et 10 mA
30 mA	entre 15 et 30 mA
300 mA	entre 150 et 300 mA
500 mA	entre 250 et 500 mA

La **sélectivité de protection** représente la coordination des protections d'un réseau revient à placer aux points clés de l'installation, arrivée, dérivations, circuits terminaux, des appareils capables en cas de défaut de réagir de façon telle que la *surface perturbée du réseau soit la plus petite possible*. Une bonne coordination doit entraîner le fonctionnement de l'appareil de protection, situé immédiatement en amont du défaut, et lui seul, le disjoncteur D2 avant le disjoncteur D1 (fig. 1-16). Cette capacité conférée au réseau par le choix judicieux de ses dispositifs de protection, est concrétisée par la *sélectivité*.

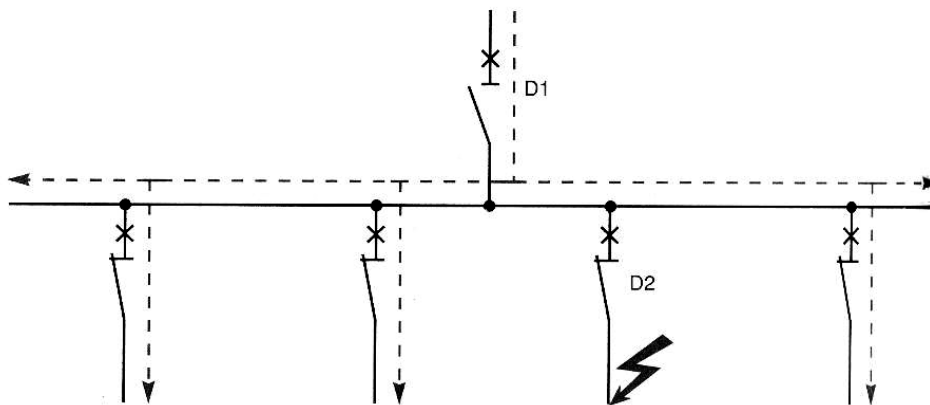


Fig. 1-16

Mais si dans le circuit à protéger sont branchés en série deux disjoncteurs différentiels instantanés de sensibilité différente (fig. 1-17), il est possible qu'ils ne permettent pas d'assurer la protection, dès que le courant de défaut dépasse leur plages de déclenchement (par exemple, dans ce cas pour $I_d > 150$ mA).

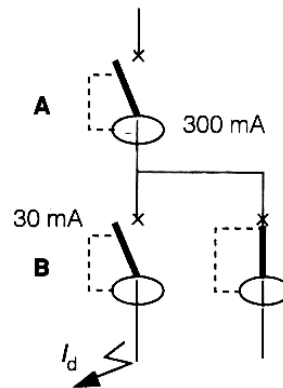


Fig. 1-17

De plus en plus, dans la pratique, on utilise des disjoncteurs (A) conçus pour fonctionner avec un retard prédéterminé (fig. 1-18) (par exemple, 50 ms). Dans ce cas et quelque soit la valeur du courant de défaut seul le disjoncteur (B) fonctionnera car son temps de déclenchement est bien inférieur à 50 ms.

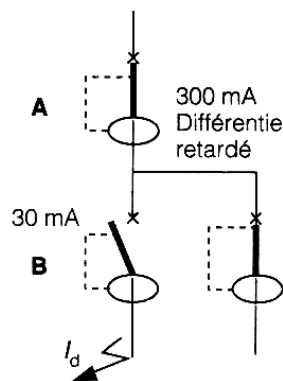


Fig. 1-18

Un **différentiel retardé**, encore désigné par **appareil sélectif**, ne peut être placé en tête d'une installation que dans la mesure où tous les *départs divisionnaires* sont protégés par des **différentiels instantanés**.

1.4. Définition de la prise de terre

La protection par des dispositifs à courant résiduels différentiel impose un circuit de terre qui assure une tension de défaut dans les normes de sécurité indiquées dans les chapitres précédentes.

1.4.1. Organisation du circuit de terre

Un circuit de terre comporte les parties principales suivantes (fig. 1-19) :

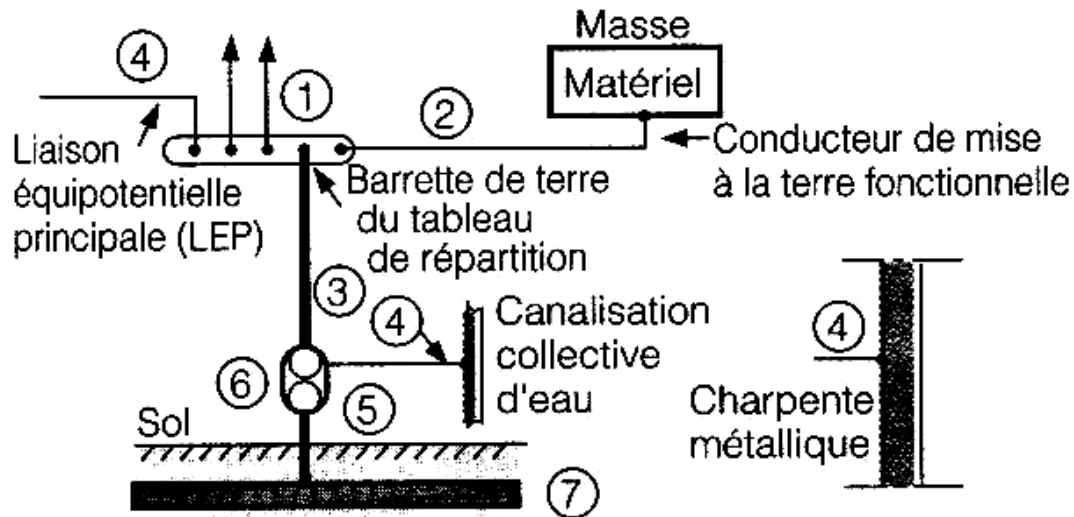


Fig. 1-19

- **Conducteur de protection des circuits PE (1) :** Chaque canalisation doit comporter un conducteur de protection (terre), même si elle est destinée à alimenter un appareil de classe II. Les conducteurs de protection (terre) doivent avoir une section égale à celle des conducteurs actifs. Si le conducteur de protection est commun à plusieurs circuits, sa section doit être égale à la plus grande section des conducteurs actifs.
- **Conducteur de mise à la terre fonctionnel (2) :** La mise à la terre pour la sécurité électrique ne doit pas être confondue avec une mise à la terre fonctionnelle. Cette dernière a pour fonction de mettre des matériels au potentiel de la terre pour assurer leur fonctionnement. Les conducteurs assurant la sécurité électrique sont exclusivement de la couleur **vert - et - jaune**. Les conducteurs assurant une mise à la terre fonctionnelle ne doivent être de la même couleur et sont raccordés à la terre sur la borne principale.