

Etude des systèmes techniques

Régime de neutre

Protection des personnes

1. Rappel de quelques définitions

Dispositif différentiel résiduel (DDR) ou différentiel: dispositif de mesure, associé à un capteur tore entourant les conducteurs actifs. Sa fonction est la détection d'une différence ou plus précisément d'un courant résiduel. L'existence d'un courant différentiel résiduel résulte d'un défaut d'isolement entre un conducteur actif et une masse ou la terre. Une partie du courant emprunte un chemin anormal, généralement la terre pour retourner à la source.

Conducteurs actifs:

Ensemble des conducteurs affectés à la transmission de l'énergie électrique y compris le neutre.

Masse: partie conductrice susceptible d'être touchée et normalement isolée des parties actives mais pouvant être portée accidentellement à une tension dangereuse.

Contact direct:

Contact des personnes avec les parties actives des matériels électriques (conducteurs ou pièces sous tension)

Contact indirect:

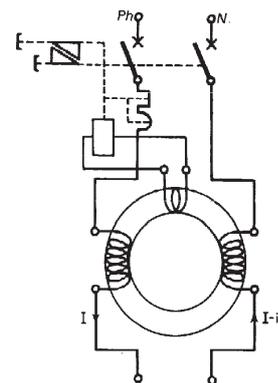
Contact des personnes avec des masses mises accidentellement sous tension généralement suite à un défaut d'isolement.

Courant de défaut I_d :

Courant résultant d'un défaut d'isolement.

Courant différentiel résiduel:

Il s'agit de la valeur efficace de la somme vectorielle des courants parcourant tous les conducteurs actifs d'un circuit en un point de l'installation.



2. Effets physiologiques du courant électrique

Le risque majeur de l'électricité réside dans l'action des courants électriques sur les deux grandes fonctions de l'organisme: la respiration et la circulation. Il convient également de ne pas négliger les risques de brûlures liés au passage du courant électrique à travers l'organisme.

2.1 Sensation du passage du courant électrique

La limite de perception est très variable d'un sujet à l'autre:

Certains perçoivent le courant pour des intensités nettement inférieures à 1 mA, tandis que d'autres ne commencent à ressentir le passage du courant que



Etude des systèmes techniques

pour des intensités plus élevées, de l'ordre de 2 mA.

2.2 Contraction musculaire

Certains sujets sont déjà «collés» au conducteur pour des intensités de moins de 10 mA, alors que d'autres peuvent encore se libérer pour des intensités supérieures (différences sensibles suivant le sexe des individus, leur âge, leur état de santé, leur niveau d'attention...).



2.3 Arrêt respiratoire

Pour des intensités de l'ordre de 20 à 30 mA, la contracture des muscles peut diffuser et atteindre les muscles respiratoires pour aboutir à un arrêt respiratoire.



2.4 Fibrillation ventriculaire

Il existe une proportionnalité approximative entre le poids du corps et l'intensité nécessaire à la fibrillation, ce qui permet de situer ce seuil vers 70 ou 100 mA. En réalité, ce seuil ne peut être défini par un seul chiffre, car il varie assez largement avec les conditions physiologiques du sujet, mais aussi avec les paramètres physiques de l'accident: trajet du courant dans le corps, résistance de l'organisme, tension, type de contact, et enfin, temps de passage du courant.



2.5 Risques de brûlures

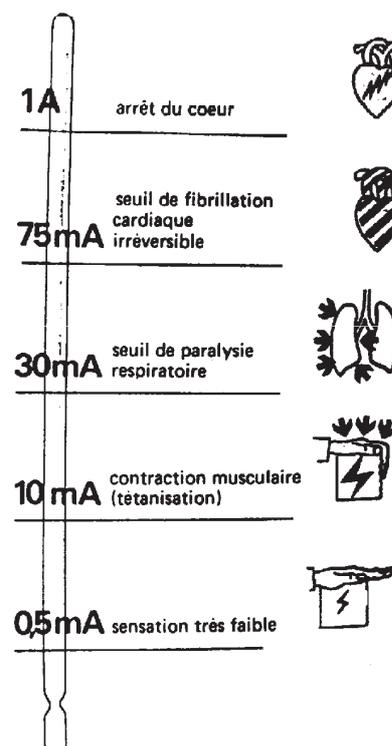
Un autre risque important lié à l'électricité est la brûlure. Celles-ci sont très fréquentes lors des accidents domestiques et surtout industriels (plus de 80 % de brûlures dans les accidents électriques observés à EDF). Il existe deux types de brûlures:



· La brûlure par arc, qui est une brûlure thermique due à l'intense rayonnement calorifique de l'arc électrique.

· La brûlure électrothermique, seule vraie brûlure électrique, qui est due au passage du courant à travers l'organisme.

2.6 Résumé du passage du courant dans l'organisme

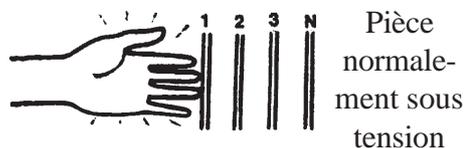


Etude des systèmes techniques

3. Protection contre les contacts directs

Quel que soit le régime de neutre.

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. Les moyens à mettre en oeuvre pour protéger les personnes contre les contacts directs sont de plusieurs types (définis dans la norme NF C 15-100).



Moyens préventifs, destinés à mettre hors de portée les parties actives sous tension.

- Isolation des parties actives, bottier isolant d'un disjoncteur, isolant extérieur d'un câble;
- Barrières ou enveloppes (coffrets ou armoires de degré de protection minimum IP 2 x ou IP x x 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;
- Eloignement ou obstacles pour mise hors de portée, protection partielle utilisée principalement dans les locaux de services électriques.

Cependant certaines installations peuvent présenter des risques particuliers, malgré la mise en oeuvre des dispositions précédentes: isolation risquant d'être détaillante (chantiers, enceintes conductrices), conducteur de protection absent ou pouvant être coupé... Dans ce cas, la norme NF C 15-100 définit une protection complémentaire: C'est l'utilisation de dispositif différentiel à courant résiduel (DDR) à haute sensibilité ($I_{\Delta n} < 30 \text{ mA}$). Ces DDR assurent la protection des personnes en décelant et coupant le courant de défaut dès son apparition.

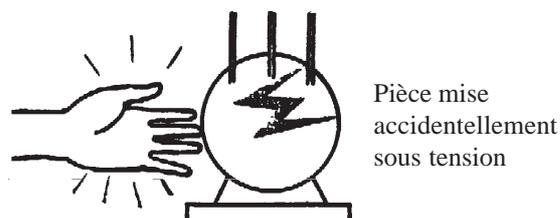
Disposition rendant non dangereux le contact direct.

C'est l'utilisation de la très basse tension (TBTS, TBTP), limitée à 25 V (contraintes de mise en oeuvre, puissances véhiculées faibles).

4. Protection contre les contacts indirects généralités

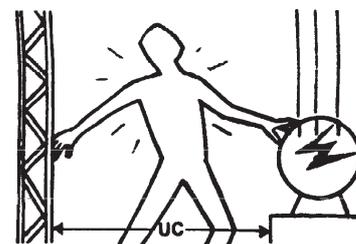
Les mesures de protection contre les contacts indirects sont de deux sortes (NF C 15 100):

- Protection par coupure automatique de l'alimentation, elle n'est réelle que si les deux conditions suivantes sont réalisées:



*1^{ère} condition: toutes les masses et éléments conducteurs accessibles doivent être interconnectés et reliés à la terre. Deux masses simultanément accessibles doivent être reliées à une même prise de terre.

*2^{ème} condition (quand la 1^{ère} 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



Etude des systèmes techniques

pendant une durée telle qu'elle soit dangereuse.

· Protection sans coupure de l'alimentation, emploi de la très basse tension (TBTS, TBSTP), 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.

Plus cette tension est élevée, plus la mise hors tension de cette partie d'installation en défaut doit être rapide. La norme NF C 15 100 définit le temps de coupure maximal du dispositif de protection dans les condition normale ($UL = 50V$) et dans les conditions mouillées ($UL 25 V$), (UL est la tension de contact la plus élevée qui peut être maintenue indéfiniment sans danger pour les personnes).

Tension de contact présumée (V)	Temps de coupure maximale du dispositif de protection (s) $UL = 50 V$	Temps de coupure maximale du dispositif de protection (s) $UL = 25 V$
25	5	5
50	5	0.48
75	0.6	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	-

Cette mise hors tension de l'installation se fait différemment selon les schémas des liaisons (régimes de neutre)

Les réseaux de distribution sont caractérisés essentiellement par la nature du courant et le nombre de conducteurs actifs, ainsi que par les liaisons à la terre ou régimes de neutre.

La sécurité des personnes et du matériel est assurée différemment en fonction du régime de neutre utilisé dans une installation électrique.

Etude des systèmes techniques

5. Les trois régimes de neutre

Les réseaux ou installations basse tension les plus courants sont réalisés en fonction de l'alimentation des récepteurs, soit en courant continu, soit en courant alternatif monophasé ou triphasé.

La norme C 15.100 définit trois régimes de neutre qui sont caractérisés par deux lettres:

- 1 ère lettre: Situation du neutre par rapport à la terre:

T: liaison d'un point avec la terre.

I: isolation de toutes du neutre par rapport à la terre, ou liaison d'un point avec la terre à travers une Impédance.

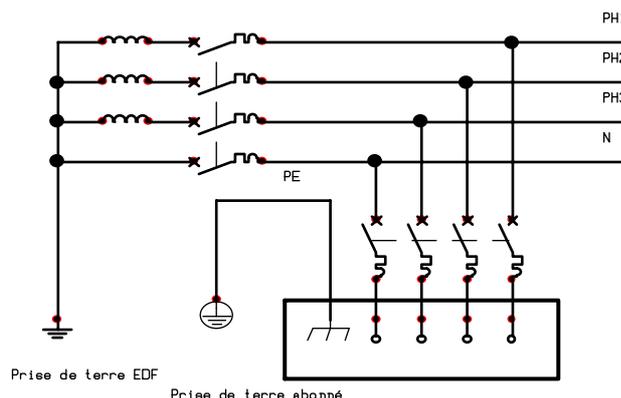
- 2 ème lettre: Situation des masses de l'installation par rapport à la terre:

T . Masses reliées directement à la terre;

N . Masses reliées au neutre de l'installation, lui-même relié à la terre.

5.1 Neutre à la terre : TT

Le neutre de l'alimentation est relié à la terre. Les masses de l'installation sont aussi reliées à la terre. Cette solution simple à l'étude et à l'installation est celle qui est employée par E.D.F. pour les réseaux de distribution basse tension, Aussitôt qu'un défaut d'isolement survient, il doit y avoir coupure: C'est la coupure au premier défaut.



5.2 Mise au neutre: TN

Le neutre de l'alimentation est relié à la terre et les masses sont reliées au neutre.

Schéma TNC:

Le neutre et le conducteur de protection sont confondus. Ce type de schéma est interdit pour des sections de conducteurs inférieures à 10 mm², en amont du schéma TNS, on utilise l'appareillage tripolaire, car on ne doit jamais couper un conducteur de protection électrique PE (jaune / vert)

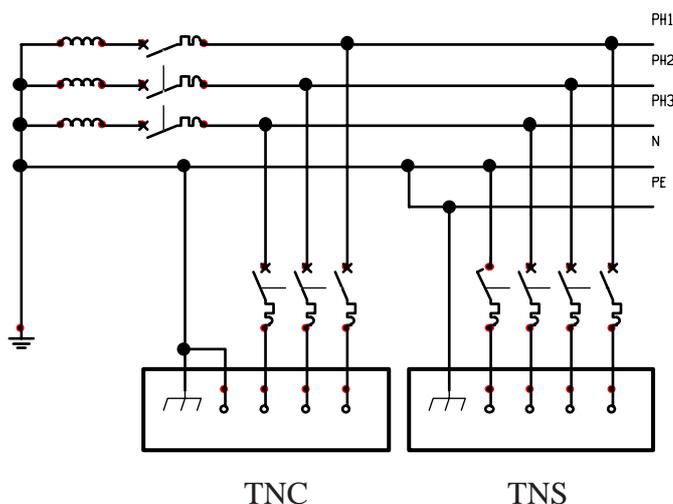


Schéma TNS:

Le neutre et le conducteur de protection sont séparés. Il faut utiliser, des appareils tétrapolaires.

Etude des systèmes techniques

Dans les deux cas, la protection doit être assurée par coupure au premier défaut.

* On peut combiner un réseau TNC puis un TNS uniquement

* Le conducteur PEN ne doit comporter aucun dispositif de protection, de sectionnement et de commande.

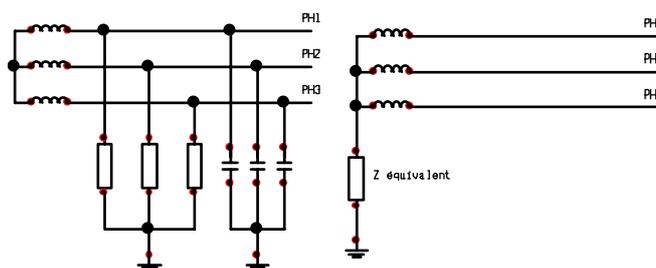
* Le conducteur PEN ne doit pas être commun à plusieurs circuits

* Dans le câblage interne des machines, le conducteur de neutre ne peut pas être utilisé comme conducteur de protection.

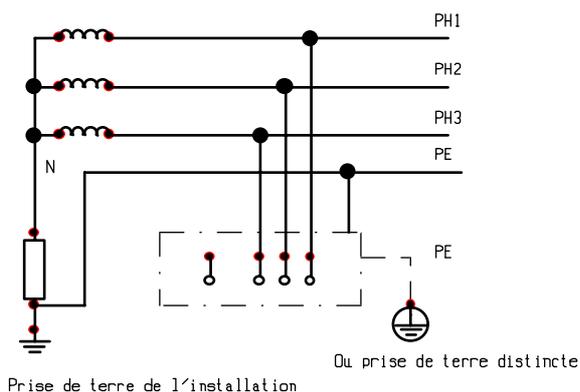
* Les éléments conducteurs tels que les charpentes métalliques, ne peuvent pas être utilisés comme conducteurs de protection.

5.3 Neutre isolé: IT

A partir d'une certaine extension (environ 1 km), un réseau triphasé présente des résistances de fuite et des capacités par rapport à la terre, uniformément réparties. Les résistances R_1, R_2, R_3 et les capacités C_1, C_2, C_3 peuvent être représentées par une impédance équivalente Z ramenée entre neutre et terre ($Z=3$ ou 4000Ω pour un réseau de 1 Km de long).



Le neutre est isolé ou relié à la terre par une assez forte impédance (1500 à 2200 Ω). Le premier défaut ne présente pas de danger. Le courant phase-masse est très faible et aucune tension dangereuse n'est à craindre. Mais il doit être signalé et recherché pour être éliminé. La coupure est obligatoire au deuxième défaut.



6. Le régime de neutre TT

Le système de distribution de l'EDF et le régime TT pour la distribution d'énergie publique basse tension.

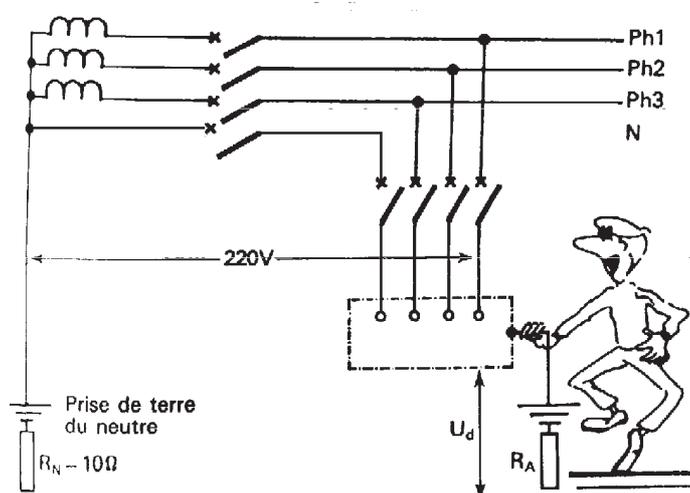
6.1 Principe

Dans ce système de distribution:

- Le neutre de la source d'alimentation est mis à la terre:
- Les masses sont reliées entre elles et mises à la terre.

Exemple:

Soit le réseau TT de distribution ci-contre:



Etude des systèmes techniques

Lorsqu'une phase touche la masse, il y a élévation du potentiel de cette masse.

Soit:

R_d = résistance de défaut = 0 W.

R_N résistance de la prise de terre du neutre $R_N = 1 \text{ W}$

R_A = résistance de la prise de masse = 20 W.

Il s'établit dans le circuit en pointillés rouges un courant:

$$I_d = \frac{220}{R_d + R_N + R_A} =$$

La tension de la masse par rapport à la terre sera:

$$U_d = R_A \times I_d =$$

Lorsque, dans un réseau TT, survient un défaut d'isolement, il y a une élévation dangereuse du potentiel des masses métalliques (qui habituellement sont au potentiel 0 volt).

6.2 Règles à observer

• 1 ère règle:

Toutes les masses des matériels protégés par un même dispositif de protection doivent être interconnectées et reliées par un conducteur de protection (PE) à une même prise de terre.

• 2 ème règle:

La condition de protection doit satisfaire à la relation suivante:

I_a , courant de fonctionnement du dispositif de protection (A)

R_A : résistance de la prise de terre des masses

U : Tension de contact, elle est égale à U_L

$$R_A I_A \leq U$$

Tension limite $U_L = 50, 25$ ou 12 V en fonction des locaux.

3 ème règle:

Dans les schémas TT, on assurera la protection par un dispositif à courant différentiel résiduel. Dans ce cas le courant I_a est égal au courant différentiel résiduel du disjoncteur.

La sensibilité d'un disjoncteur différentiel est indiquée par le symbole Δn , qui indique le système de protection qui peut être un interrupteur ou un disjoncteur. Le temps de déclenchement doit être inférieur à celui donné par les courbes de sécurité.

Etude des systèmes techniques

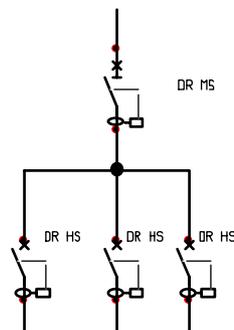
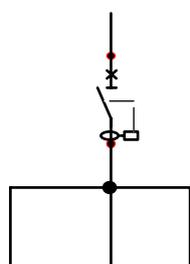
6.3 Choix des caractéristiques de disjoncteur différentiels

Lorsqu'il n'est pas possible en pratique de mesurer la résistance de la prise de terre, on s'assure que l'impédance de la boucle de défaut n'est pas supérieure à celle qui est donné dans le tableau page suivante.

Courant différentiel nominal du dispositif (I Dn)	Courant différentiel résiduel nominal du dispositif DR	Valeur maximale de la résistance de la prise terre des masses Ohms
Faible sensibilité	20 A	2.5
	10 A	5
	5 A	10
	3 A	17
Moyenne sensibilité	1 A	50
	500 mA	100
	300 mA	167
Haute sensibilité	100 mA	500
	30 mA	1670
	12 mA	4150
	6 mA	8300

Ce tableau est établi par $U_L = 50 \text{ V}$, pour $U_L = 25 \text{ V}$ il faut diviser par 2 les valeurs de résistance de terre.

Toute installation TT doit être protégée au moins par un dispositif différentiel résiduel placé à l'origine de l'installation.



Cette solution présente l'inconvénient de couper toute l'installation en cas de défaut. Pour y remédier, on peut utiliser plusieurs disjoncteurs différentiels à moyenne ou haute sensibilité, ce qui permet une sélectivité de la protection. En cas de défaut, la partie de l'installation qui présente le défaut sera la seule coupée.

6.4 Résumé: Régime de neutre type TT:

- Neutre à la terre, et masse à la terre.

Principe:

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

Etude des systèmes techniques

Conditions

- Protection par système différentiel résiduel.

Avec $RA \sum n < UL$

Toutes les masses protégées par un même disjoncteur différentiel doivent être reliées à la même prise de terre.

Utilisation

Imposée dans les installations alimentées par un réseau de distribution public à base tension.

Avantage et inconvénient

Coupure au premier défaut.

Nécessité d'installer des dispositifs différentiels assurant la protection contre les contacts indirects.

Le plus simple à mettre en oeuvre, à contrôler, à exploiter.

Dans les installation importante une sélectivité de fonctionnement doit être prise en compte.

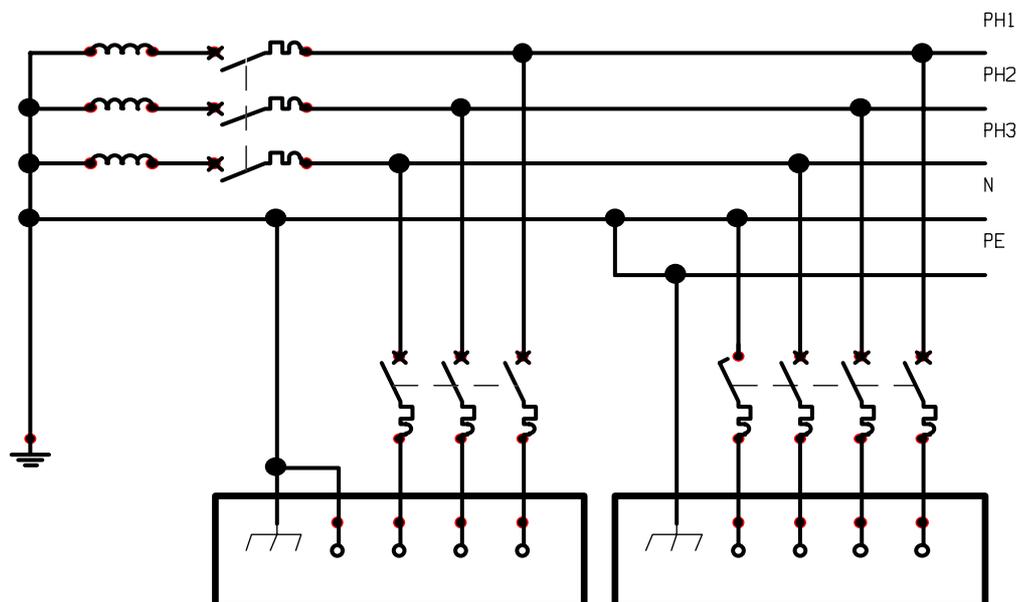
7. Le régime TN

7.1 Principe

Le neutre de l'alimentation est mis à la terre et les masses sont reliées au neutre, ainsi, tout défaut d'isolement est transformé en un défaut entre phase.

7.11 Exemple

Le défaut entre C et la masse se referme par le circuit D E F du conducteur de protection électrique PEN:



On appelle boucle de courant le circuit A, B, C, D, E, F. Les fusibles ou disjoncteurs doivent assurer la protection et couper le circuit dans un temps inférieur à celui défini par la courbe de sécurité.

Etude des systèmes techniques

• Schéma TNC:

Masses reliées au neutre, et neutre relié à la terre. Le conducteur neutre et de protection électrique sont communs (PEN).

Le conducteur PEN doit être raccordé aux masses des récepteurs; Il ne doit pas être coupé, ni comporter d'appareillage (appareils de protection uniquement tripolaire).

• Schéma TNS:

Le conducteur neutre est séparé d'avec le conducteur de protection électrique PE.

En schéma TNS, le conducteur PE n'est pas coupé, mais le neutre peut être coupé; On utilise un appareillage tétrapolaire.

Un schéma TNS peut suivre un schéma TNC, mais on ne doit pas reprendre ensuite en TNC.

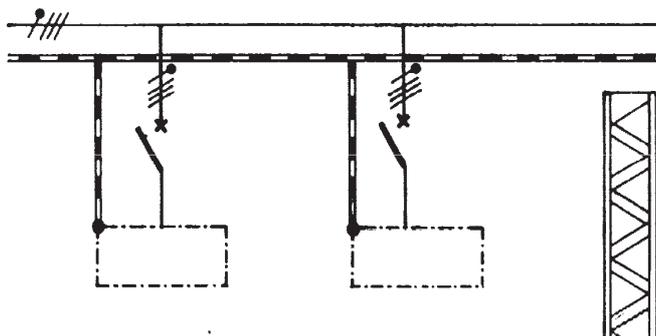
Le TNC est autorisé pour les sections supérieures à 10 mm² en cuivre et 16 mm² en aluminium.

Lorsqu'un défaut d'isolement survient entre une phase et la masse provoque un court-circuit phase neutre.

L'élévation du potentiel de la masse devient rapidement dangereuse et les systèmes de protection contre les surintensités (fusibles disjoncteurs) doivent couper le circuit dans le temps défini par les courbes de sécurité.

7.12 Liaisons équipotentielles

Elles assurent les liaisons électriques entre les masses et permettent de rendre encore moins résistante la boucle de défaut.

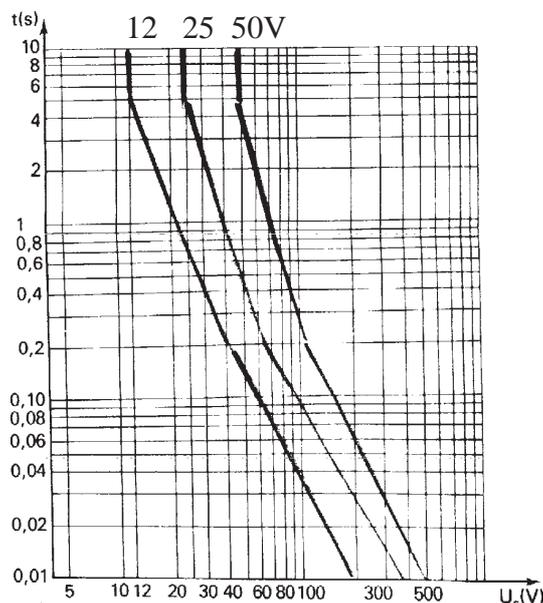


7.2 Courbes de sécurité

Le normalisateur, utilisant les travaux réalisés dans le domaine médical sur les courants dangereux pour le corps humain, a défini des courbes de sécurité qui tiennent compte:

- Des tensions limite à ne pas dépasser;
- Des temps maximaux supportables par le corps humain;
- Des conditions d'environnement relatives à l'humidité;
- De la nature du courant, continu ou alternatif.

Plus la tension est élevée, plus le temps de passage possible du courant doit être court. La tension limite de sécurité UL est la tension de contact la plus élevée qui puisse être maintenue sans danger pour les personnes.



Etude des systèmes techniques

7.3 Condition de protection

La protection est effectuée par disjoncteur ou fusible, ces protections doivent être particulièrement étudiées à cause des risques d'incendie dus au fait des forts courants de court-circuit. Le déclenchement se produit au premier défaut d'isolement.

7.31 Protection par disjoncteur

La comparaison des courbes de fonctionnement d'un disjoncteur et des courbes de sécurité montre qu'un disjoncteur assure la protection des personnes dans un schéma TN, à condition que le courant de défaut soit supérieur au courant de fonctionnement du déclencheur magnétique.

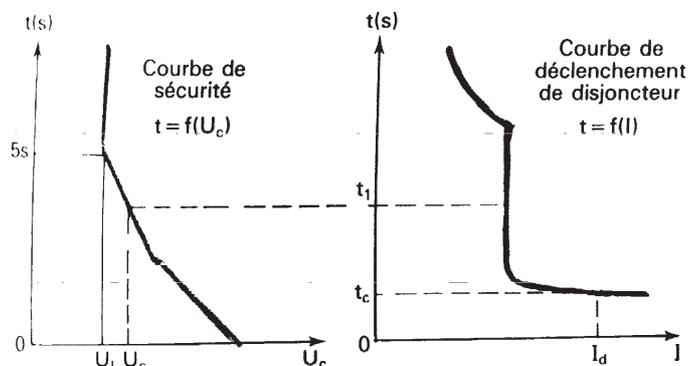
$$I_D > I_{\text{magn}}$$

I_D : courant de défaut

I_{magn} : Courant de réglage du déclencheur magnétique

Remarque:

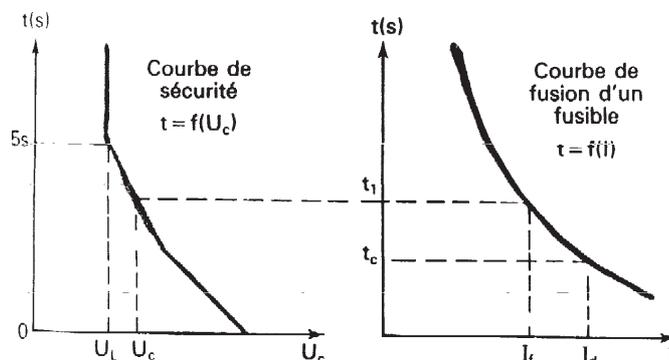
Dans le cas d'une protection par disjoncteur, si $I_D > I_{\text{magn}}$ le temps de coupure t_d est toujours inférieur à t_1 , quels que soient U_C et la valeur de U_L .



7.32 Protection par fusibles

La comparaison de la courbe de fusion d'un fusible et des courbes de sécurité montre qu'un fusible assure la protection des personnes dans un schéma TN, à condition que le courant de défaut soit supérieur au courant assurant la fusion (I_f) du fusible dans le temps t_1 prescrit par la courbe de sécurité.

Remarques:



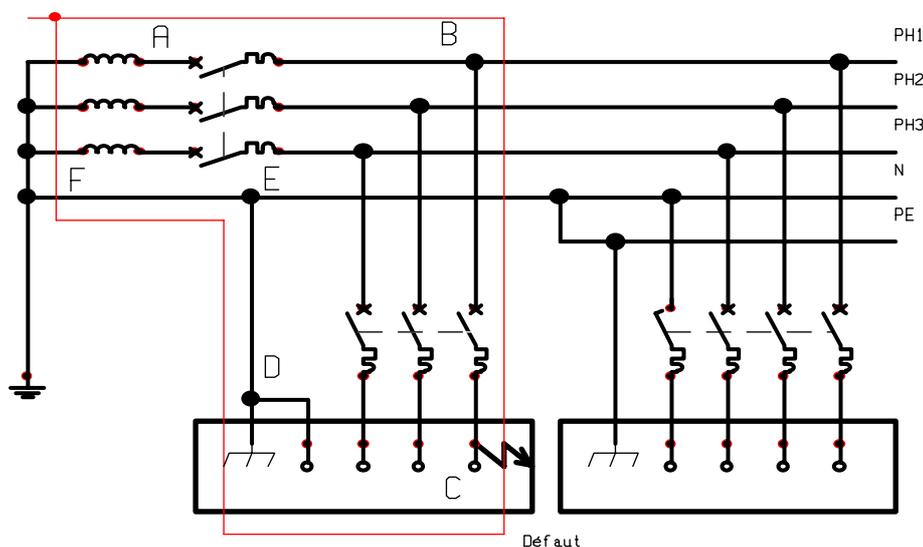
La protection des personnes repose essentiellement sur les conditions de fonctionnement des protections du réseau (disjoncteur, fusibles) en présence d'un défaut d'isolement, il faut impérativement:

- Prendre toutes les dispositions pour faciliter l'établissement d'un courant de défaut élevé, le conducteur PE ou PEN fait partie du même câble que les conducteurs actifs;
- Interconnecter toutes les masses et éléments conducteurs;
- Vérifier par des calculs la bonne adaptation des protections et, si possible, faire des mesures de contrôle.

Etude des systèmes techniques

7.4 Calcul simplifié

Dans le schéma ci-dessous, qui représente un départ basse tension la boucle de défaut B, C, D E est alimentée par une tension estimée à 0,8 fois la tension simple.



La section des conducteurs est de 50 mm²

$$\rho = 22.5 \text{ m}\Omega\text{mm}^2/\text{m}$$

$$l = 40 \text{ m}$$

$$V_{BE} = 0,8 \times 220 = 176 \text{ V (Réseau 220/380 V)}$$

L'impédance de cette boucle de défaut dans un calcul approché est ramenée à la valeur de la résistance des câbles. Z_d = impédance de la boucle de défaut B, C, D, E.

On considère que le PEN suit le même parcours que le conducteur de phase BC, donc BC = DE, soit une longueur de 40 m.

$$Z_d = 2 R_{BC} \text{ d'où } Z_d = 2 \frac{\rho l}{S} = 2 * 22.5 \frac{40}{50} = 36 \text{ m}\Omega$$

Le courant de défaut I_d est donné par la relation:

$$I_D = \frac{V_{BE}}{Z_D} = \frac{176}{36 \cdot 10^{-3}} = 4890 \text{ A}$$

La tension de contact (U_c) peut être considérée comme la moitié de la tension aux bornes de la boucle de défaut, soit:

$$U_C = V_{DE} = \frac{V_{BE}}{2} = \frac{176}{2} = 88 \text{ V} \quad \text{Tension dangereuse}$$

Donc, en cas de défaut franc (phase masse) dans le régime de neutre TN, il faut couper immédiatement le circuit en défaut. Si la protection du circuit est assurée par un disjoncteur de calibre 160 A avec un relais magnétique qui déclenche à 7 fois l'intensité nominale.

$$I_{\text{magn}} = 7 * 160 = 1120 \text{ A.}$$

$I_d > I_{\text{magn}}$ provoque le déclenchement du disjoncteur.

Etude des systèmes techniques

Il faut aussi s'assurer que le temps de déclenchement du disjoncteur est inférieur au temps maximal donné par la courbe de sécurité:

$$T_{disj} < t_{sécu}$$

- Temps de déclenchement du disjoncteur 160 A donné par le constructeur: 0,025s soit 25 ms;
- Temps donné par la courbe de sécurité pour une tension de contact de 88 V, courbe UL = 25 V:

$$t_{sécu} = 0.12s \text{ soit } 120 \text{ ms}$$
$$25 \text{ ms} < 120 \text{ ms}$$

Les deux conditions (courant de défaut suffisant pour faire déclencher le disjoncteur et temps de déclenchement du disjoncteur suffisamment court) sont réalisées dans ce cas de calcul approché.

Remarque:

Si les conditions de déclenchement n'étaient pas assurées, il y aurait lieu:

- D'augmenter la section des conducteurs.
- De réaliser des connexions équipotentielles supplémentaires.
- D'agir sur le réglage du calibre du relais magnétique.

8. Régime IT

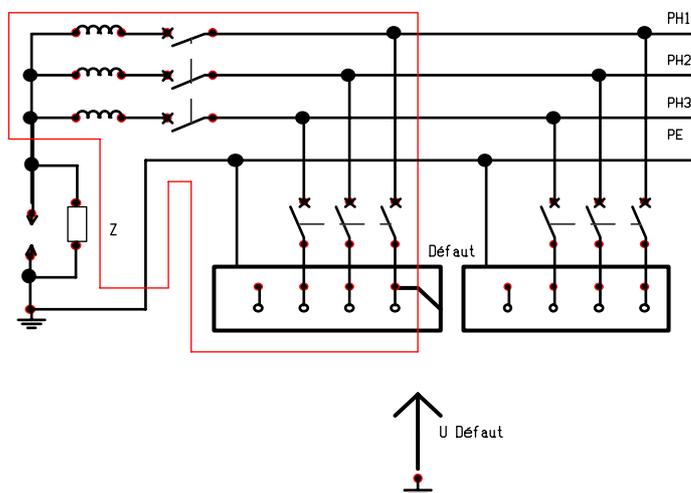
8.1 Principe

Dans le régime du neutre isolé:

- Le neutre est isolé de la terre, ou relié à la terre par une impédance élevée.
- Les masses sont reliées à une prise de terre.

8.11 Premier défaut

Un premier défaut n'est pas dangereux, mais il doit être recherché et éliminé. Au deuxième défaut il faut impérativement couper le circuit en défaut.



Le neutre est relié à la terre par l'intermédiaire d'une impédance élevée.

Il est fortement recommandé de ne pas distribuer le neutre dans l'installation.

On place également un éclateur en cas de sur-tension importante

Etude des systèmes techniques

a) Exemple de calcul sans impédance:

Données:

- Réseau à neutre isolé, impédance d'isolement $Z_i = 50\,000 \, \Omega$
- Impédance de la ligne: $10 \, \Omega$
- Résistance du défaut $r = 0 \, \Omega$ (défaut franc).

Calculs:

$$I_d = \frac{220}{10 + 0 + 50\,000} = 0.005 \text{ A}$$

En parcourant la boucle de défaut, on applique la loi d'Ohm, afin de déterminer le courant de défaut:

Le courant est très faible du fait de la forte impédance d'isolement du neutre.

La tension de défaut est alors $V = 0,005 \times 10 = 0,05 \text{ V}$: Elle est inoffensive.

Tout se passe comme si l'on se trouvait devant un réseau ayant 1 phase à la terre, et les 2 autres phases ainsi que le neutre isolés.

Remarque:

Dans une installation à neutre isolé (IT), l'impédance équivalente ramenée entre neutre et terre est d'environ $3\,500 \, \Omega$ par km de lignes, elle est due aux capacités et aux fuites à la terre qui se font par les isolants.

b) Exemple de calcul avec impédance:

Le réseau comporte une impédance $Z_n = 2\,200 \, \Omega$.

$$R_{\text{défaut}} = 2 \, \Omega$$

$$R_n = 1 \, \Omega$$

$$R_u = 10 \, \Omega$$

Calculs:

La tension de défaut est:

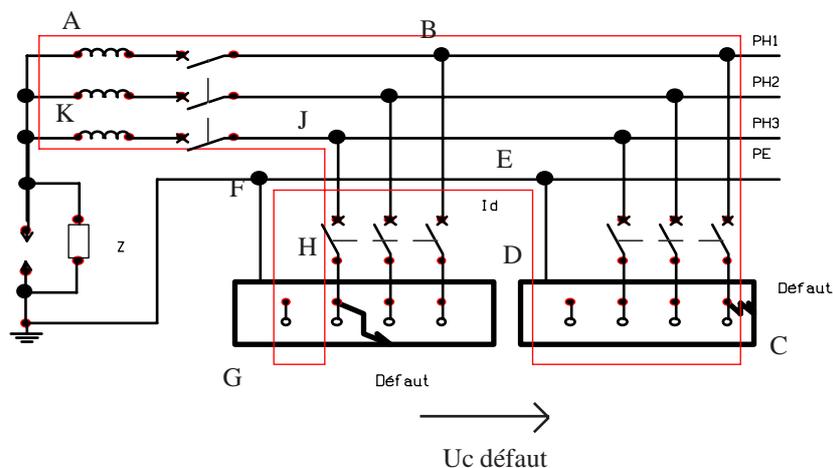
$$V = R_u \times I_d =$$

Le potentiel est inoffensif.

Etude des systèmes techniques

8.12 Cas d'un deuxième défaut

Soit le jeu de barres du schéma ci-dessous qui alimente deux départs, et sur lequel il existe deux défauts: l'un sur la phase 1, l'autre sur la phase 3.



Calcul simplifié de la protection:

En cas de défaut double, il s'établit un courant boucle A, B, C, D, E, F, G, H, J, K.

Données:

Z_b = impédance boucle B, C, D, E, F, G, H, J
Réseau 380 V triphasé

Calculs:

$$U_{BJ} = Z_b * I_d \text{ d'où } I_d = \frac{U_{BJ}}{Z_b}$$

U_{BJ} = tension entre phases estimée à 0,8 U comme en TN d'où:

$$U_{BJ} = 0,8 \times 380 = 304 \text{ V}$$

Si l'on néglige la réactance, l'impédance de boucle peut être égale à :

$$Z_b = 2 (R_{BC} + R_{HJ}) = 2 \left(\rho \frac{40}{25} + \rho \frac{50}{35} \right)$$

$$Z_b = 2 * 22,5 (1,6 + 1,4)$$

$$Z_b = 135 \text{ m}\Omega$$

Etude des systèmes techniques

L'intensité de défaut est alors de:

$$I_d = \frac{U_{BJ}}{Z_b} = \frac{304}{135 \cdot 10^{-3}} = 2252 \text{ A}$$

La tension de contact est alors de:

$$U_c = U_{BJ} / 2 = 152 \text{ V.}$$

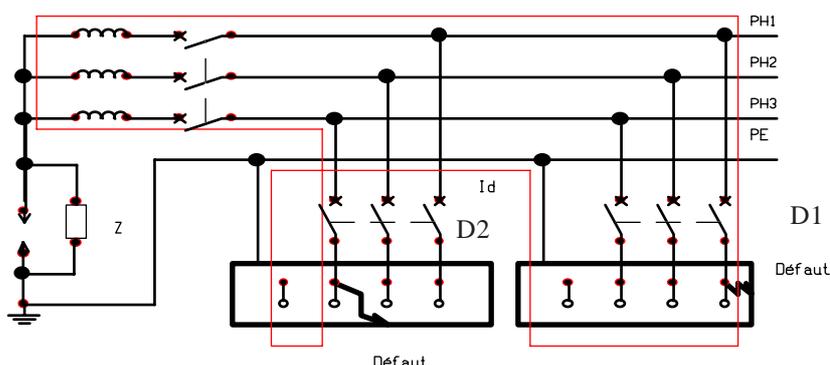
C'est une tension de contact dangereuse.

A travers ces résultats, on voit qu'en cas de défaut double, en régime de neutre IT, on est en présence d'un fort courant de court-circuit et d'une tension de contact dangereuse.

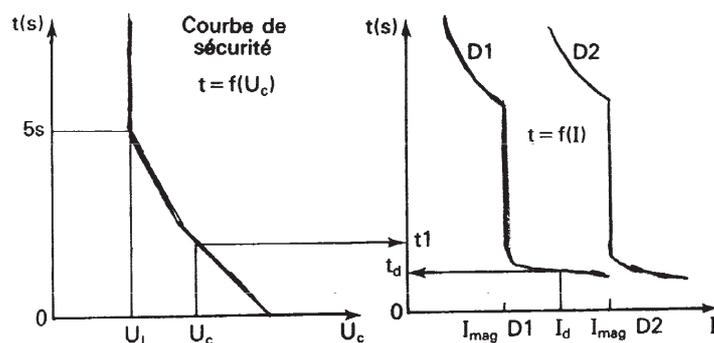
8.2 Protection en cas de double défaut

8.21 Protection par disjoncteurs

Dans le cas d'un défaut double, deux disjoncteurs sont concernés, D1 et D2.



La comparaison des courbes de fonctionnement des disjoncteurs D1 et D2 avec la courbe de sécurité permet de vérifier que la protection des personnes est assurée. Il suffit que l'un des deux disjoncteurs ouvre le circuit sous l'effet du relais magnétique pour qu'on soit ramené au cas du premier défaut:



$I_d > I_{mag1}$ ou $I_d > I_{mag2}$

8.22 Protection par fusibles

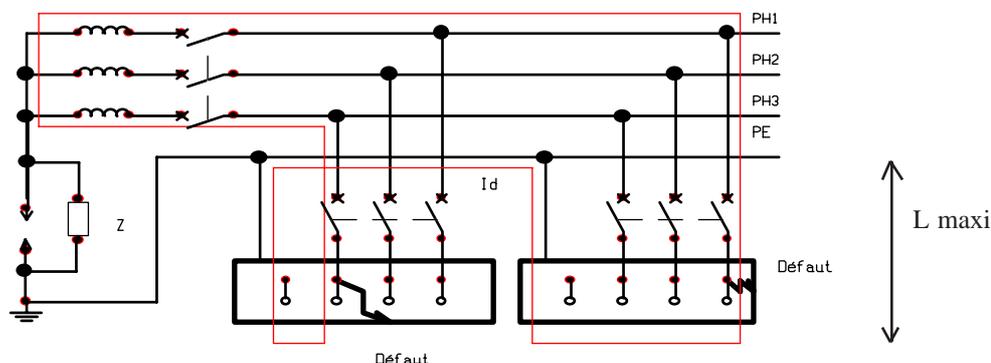
La comparaison de la courbe de sécurité avec les courbes de fusion des fusibles F1 et F2 permet de vérifier que la protection des personnes est assurée au deuxième défaut. Il suffit que I_d soit supérieur à l'un ou l'autre des courants assurant la fusion des fusibles dans le temps prescrit par la courbes de sécurité.

Etude des systèmes techniques

8.3 Calcul des conditions de déclenchement

Dans une installation à neutre isolé (IT) en cas du deuxième défaut, on est ramené au cas du schéma TN avec cependant deux particularités.

- Le neutre n'est pas forcément distribué.
- Il est impossible d'effectuer la vérification pour tous les cas de défaut double. On suppose une répartition identique de la tension entre chacun des deux défauts.



8.31 Relation

a) Le neutre n'est distribué

$$L_{\max} = \frac{0.8 U S_{ph}}{2 \rho (1 + m) I_{Magnou} (I_f)}$$

$$U_c = \frac{0.8 U m}{1 + m}$$

b) Le neutre est distribué

$$L_{\max} = \frac{0.8 V S_1}{2 \rho (1 + m) I_{Magnou} (I_f)}$$

$$U_c = \frac{0.8 V m}{1 + m}$$

L_{\max} : Longueur maxi du départ (en m)

V : tension simple en volts (en V)

U : tension composée (en V)

S_{ph} : Section de phase (en mm^2)

S_1 : Section du neutre (en m^2)

\times : Résistivité $22.5 \cdot 10^{-3} \Omega mm^2/m$ (cuivre)

$36 \cdot 10^{-3} \Omega mm^2/m$ (aluminium)

Etude des systèmes techniques

I_{mag} : Courant de déclenchement du relais magnétique

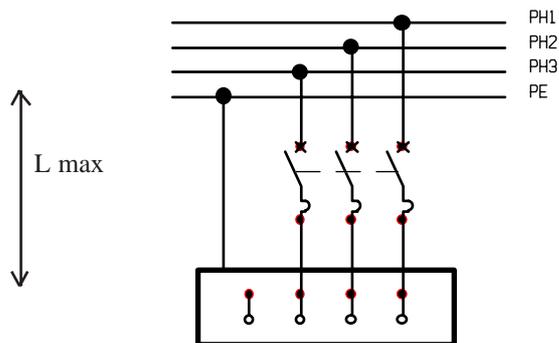
I_f : Courant de fusion du fusible dans le temps calculé par les courbes de sécurité.

m : Rapport $S_{\text{ph}} / S_{\text{PE}}$

La norme C 15.100 recommande de ne pas distribuer le neutre dans le cas du schéma IT car il diminue considérablement les longueurs protégées et pénalise ce mode de distribution.

8.32 Exemple de calcul

Circuit IT
 Neutre non distribué
 Réseau 220/380 V
 Câble en cuivre
 $I_{\text{mag}} = 10 I_n = 2\,000\text{ A}$
 $S_{\text{PE}} = 50\text{ mm}^2$
 $S_{\text{PH}} = 70\text{ mm}^2$
 $L = 110\text{ m}$



Calcul de la longueur maxi du conducteur

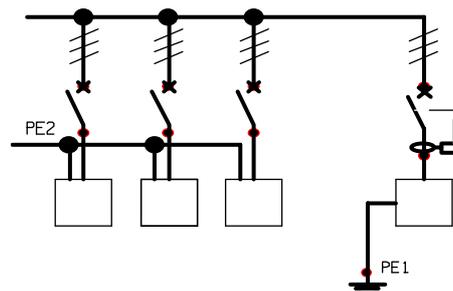
$$L_{\text{max}} = \frac{0.8 U S_{\text{ph}}}{2 \rho (1 + m) I_{\text{Magn}} \text{ ou } (I_f)} = \frac{0.8 * 380 * 70}{2 * 22.5 * 10^{-3} * (1 + \frac{70}{50}) * 200} = 95.8\text{ m}$$

La protection contre les contacts indirects n'est pas assurée car $110 > 98.5$ longueur maxi. Par contre en réglant le disjoncteur magnétique à $1\,600\text{ A}$ on sera protégé ($I_{\text{mag}} = 8 I_n$).

8.33 Cas des masses séparées

Dans le cas d'un défaut double si les masses sont séparées on se retrouve dans la situation du régime de neutre TT.

Il faut alors installer une protection différentielle à courant résiduel de défaut en tête de chaque groupe de masse relié à une prise de terre distincte.



La sensibilité doit être adaptée à la résistance de la prise de terre, on applique la relation:

$$R_E \leq \frac{U_L}{I_{\Delta n}}$$

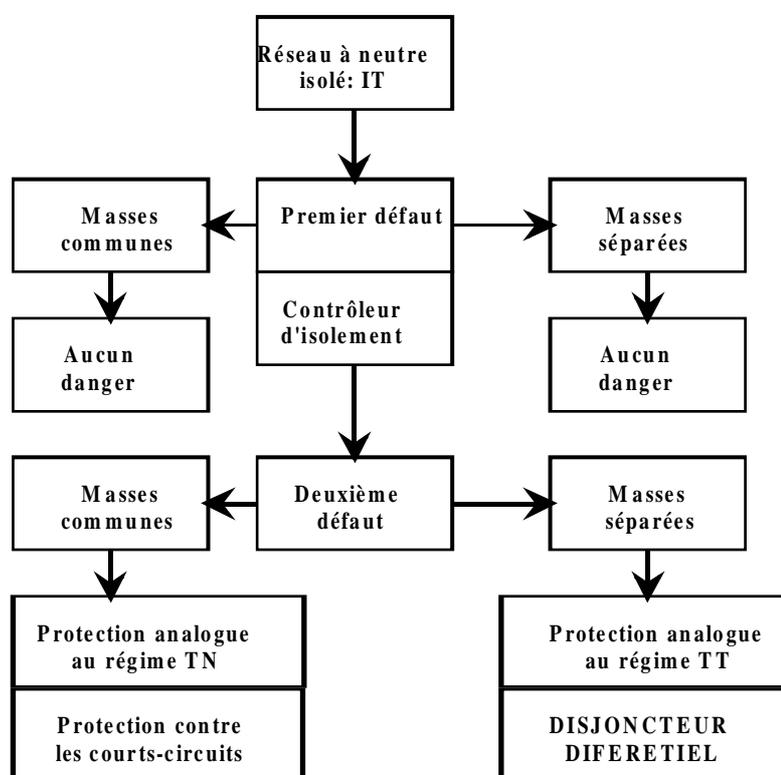
R_E = valeur en ohms de la résistance de terre éloignée.

Etude des systèmes techniques

8.4 Caractéristique du régime IT

Ce type de régime de neutre permet surtout d'assurer une bonne continuité de service, mais il nécessite impérativement que les conditions suivantes soient respectées:

- L'installation est alimentée par un poste de transformation privé.
- un service d'entretien électrique compétent est présent pour la recherche du premier défaut.
- L'installation est munie d'un ensemble de détection du premier défaut (contrôleur permanent d'isolement CPI) et d'un limiteur de surtension.
- Les protections au deuxième défaut sont assurées sur chacun des départs.



8.5 Contrôleur permanent d'isolement

Ce dispositif est utilisé pour contrôler et mesurer l'isolement global des réseaux alternatifs à neutre isolé ou impédant.

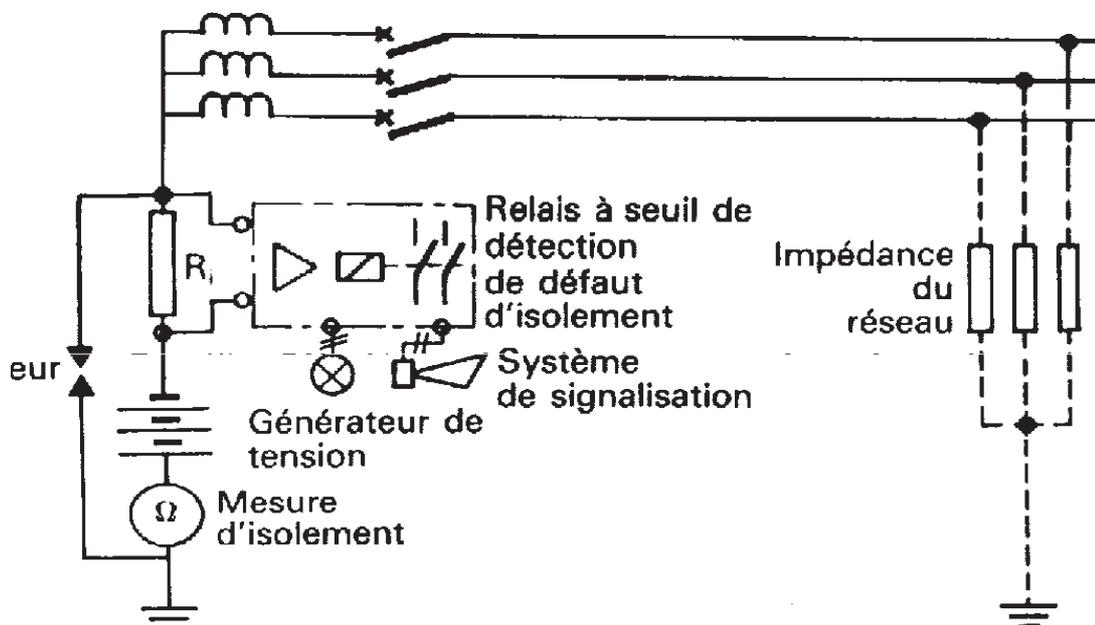
8.51 Principe.

Un générateur de courant injecte une tension continue entre le réseau et la terre: cette tension crée un courant de fuite connu dont la mesure donne la résistance d'isolement.

Etude des systèmes techniques

8.52 Constitution

Il comprend essentiellement un générateur de tension continue (réseau alternatif) ou un générateur de tension alternative à 10 Hz (réseau continu) et un relais de détection à seuil pour le courant de défaut.



8.53 Fonctionnement:

En l'absence de défaut, l'isolement de l'installation fait qu'aucun courant continu ne circule dans le réseau. Dès qu'un défaut survient, un faible courant indique dans l'appareil de mesure la valeur de l'isolement. La tension aux bornes de la résistance R_j est amplifiée et enclenche le relais de seuil qui indique, par une signalisation visuelle et sonore, la présence d'un premier défaut.

8.54 Recherche d'un défaut

Le défaut d'isolement doit être éliminé le plus rapidement possible. Pour le localiser, on peut:

- couper successivement chacun des départs jusqu'à la disparition de l'alarme, le départ concerné fait alors l'objet d'une réparation.
- Injecter dans l'installation un courant basse fréquence (environ 10 Hz) qui est détecté dans le circuit en défaut par un système à tores magnétiques fixes ou mobiles.

9. Choix d'un régime de neutre

Sur le plan de la protection des personnes, les trois régimes de neutre sont équivalents, si on respecte toutes les règles d'installation et d'exploitation.

Il est néanmoins erroné de vouloir exploiter un réseau à neutre isolé (IT) dans une installation où l'isolement est faible, par exemple dans des installations anciennes, étendues, avec des lignes extérieures. Le choix d'un régime de neutre peut s'effectuer selon trois stades qui sont résumés dans les trois tableaux suivants:

- Tableau 1: Cas où le régime de neutre est imposé.
- Tableau 2: Problème de la continuité de service.
- Tableau 3: Choix en fonction du réseau ou des récepteurs.

Etude des systèmes techniques

Cas où le régime de neutre est imposé.

		La continuité de service est impérative	
OUI			
Entretien assuré par un personnel électricien qualifié	OUI	Neutre isolé (IT) Neutre isolé (IN) Neutre à la terre (TN) Mise au neutre (TN) Le seul qui autorise la coupure au 2 ^{ème} défaut	Neutre isolé (IT) Neutre à la terre (TN) Mise au neutre (TN) D'autres critères de choix doivent intervenir
	NON	Aucun régime n'est satisfaisant. Incomptabilité entre les deux critères	Neutre à la terre Le plus simple à mettre en oeuvre et à contrôler.

Problème de la continuité de service.

		La continuité de service est impérative	
OUI			
Entretien assuré par un personnel électricien qualifié	OUI	Neutre isolé (IT) Neutre isolé (IN) Neutre à la terre (TN) Mise au neutre (TN) Le seul qui autorise la coupure au 2 ^{ème} défaut	Neutre isolé (IT) Neutre à la terre (TN) Mise au neutre (TN) D'autres critères de choix doivent intervenir
	NON	Aucun régime n'est satisfaisant. Incomptabilité entre les deux critères	Neutre à la terre Le plus simple à mettre en oeuvre et à contrôler.

Etude des systèmes techniques

Choix en fonction du réseau ou des récepteurs.

Nature du réseau ou des récepteurs		Régime de neutre			Observations
		TT	IT	TN	
R E S E A U	Réseau très étendu avec de bonne prise de terre, des masses d'utilisation (10 ohms maxi).	C	D	P	Il est illusoire de parler de réseau isolé par rapport à la terre pour des longueurs de plus 10 Km
	Réseau très étendu avec de très mauvaise prise de terre de masse d'utilisation $R_U > 30$ ohms	C	D	D	
	Réseau en zone orageuse	P	D	C	Risque d'ammorçage du limiteur transformant le réseau (IT) en (TT)
	Courant de fuite important > 500 mA	P	D	C	Si possible isoler la partie perturbatrice. Risque de déclenchement des disjoncteurs différentiels
	Réseau avec lignes aériennes extérieures	C	D	P	En IT l'isolement est incertain à cause de l'humidité et des poussières
	Groupe électrogène de secours	P	C	D	En TN risque de détérioration de l'alternateur en cas de défaut interne
R E C E P T E U R	Récepteur sensible au grand courant de défaut (moteurs)	P	C	D	Le courant de défaut en TN peut atteindre plusieurs fois la valeur du courant nominal
	Récepteur à faible isolement: - Fours électrique - Thermo plongeur - Soudeuses	P	P	C	Pour la sécurité et la continuité de service, un transfo d'isolement permet de séparer ces récepteurs du reste du réseau
	Nombreux récepteurs monophasé entre phase et neutre	C	D	D	Risque de diminution de l'isolement avec le temps
	Récepteur à risque - Palans - Convoyeurs - Récepteurs avec alimentation mobile	P	D	C	Alimentation par un transformateur de séparation avec mise au neutre locale
	Nombreux auxiliaires Machines-outils Pour le circuit de commande	D	P	C	Emploi de transformateur de séparation avec mise au neutre locale

C conseillé
P Possible
D Déconseillé