



Les Schémas de Liaison à la Terre

p.2

Régimes
de neutre
et SLT.

p.3

Défauts
d'isolement
et risque.

p.4

Protection
des personnes
et des biens,
continuité
de service.

Schémas
de Liaison
à la Terre.

p.8

Perturbations
électro-
magnétiques :
harmoniques,
foudre,
rayonnements.

p.11

Comparatif
des SLT.

p.12

Tableau
comparatif
des SLT.

p.13

Exemples
d'application.

Après avoir rappelé les risques liés aux défauts d'isolement des installations portant atteinte à la sécurité des personnes et des biens, ce guide présente les trois Schémas de Liaison à la Terre utilisés en basse tension. Il les passe en revue sous l'angle des perturbations électromagnétiques, des tensions et des courants harmoniques, de l'influence des rayonnements, de la foudre et des courants vagabonds.

Une installation électrique de qualité doit répondre aux attentes des utilisateurs en terme de sécurité et d'exploitation. Une attention particulière doit être apportée au choix des **Schémas de Liaison à la Terre**, car leur influence est fondamentale sur la qualité de l'installation.

Lors des premières études de l'installation électrique, une analyse détaillée des besoins de l'utilisateur est indispensable.

En distribution électrique, les besoins des utilisateurs - de l'industrie au tertiaire - sont variés. Car, même si la sécurité des personnes et des biens prime toujours, on peut rechercher d'abord, soit la meilleure continuité de service, soit une protection renforcée contre les risques d'incendie, soit une protection efficace contre les défauts d'isolement par exemple.

Avant d'étudier les trois Schémas de Liaison à la Terre utilisés dans

une installation BT, il est intéressant de faire un petit rappel historique.

De 1880 à 1920, le transport et la distribution de l'électricité se font en "**neutre isolé**", les lignes sont nues, mises hors de portée, sur isolateurs ; aucun point du réseau n'est mis volontairement à la terre.

A partir de 1923, la mise à la terre des masses est fortement conseillée pour les carcasses de moteurs, les appareils électriques dans le domestique, les pièces métalliques dans les locaux à risque.

Pour éviter la fusion des fusibles sur double défaut d'isolement, il est vite apparu souhaitable d'être averti de la présence du premier défaut. Dans l'industrie, sur le triphasé, on utilise un **Contrôleur Permanent d'Isolement** constitué de trois lampes prises entre la terre et chacune des phases.

En 1927, un arrêté impose

en France, la mise à la terre du neutre du transformateur en distribution publique.

En 1935, un décret sur la protection des travailleurs traite du risque inhérent au défaut d'isolement. Les premiers **disjoncteurs de branchement différentiels** sont fabriqués à partir de 1954.

Le "**neutre à la terre**" est né, mais il faut attendre le décret du 14 novembre 1962 pour que soient fixées les règles de protection contre les contacts indirects. La NF C 15-100 de 1962 officialise le neutre isolé et le neutre à la terre, ainsi que la mise au neutre déjà pratiquée dans d'autres pays.

Parallèlement à la norme, le décret du 14 novembre 1962 légalise le neutre isolé et le neutre à la terre.

En 1973, un arrêté du ministère du travail autorise la "**mise au neutre**" en France.

En 1991, application de la " nouvelle " C 15-100.



GRUPE SCHNEIDER

Régimes de neutre et SLT

Le régime de neutre en BT fait partie du "Schéma de Liaison à la Terre" notion normalisée (CEI 364 et NF C 15-100) qui recouvre le mode de liaison à la terre :

- du neutre du secondaire du transformateur HT/BT d'une part, qui peut être :
 - relié à la terre, directement ou par une impédance,
 - isolé de la terre,
- des masses de l'installation d'autre part. Dans la suite du document nous utiliserons la dénomination "Schéma de Liaison à la Terre" le plus souvent sous la forme abrégée SLT.

Codification des SLT

Première lettre

Caractérise le point neutre du transformateur ou de la source.

- **I** : isolé de la terre.
- **T** : relié à la terre.

Deuxième lettre

Caractérise les masses électriques des récepteurs.

- **T** : reliées à la terre.
- **N** : reliées au conducteur neutre (N).

Troisième lettre (facultative)

Situation du conducteur neutre (N) et du conducteur de protection (PE).

- **C** : N et PE forment un conducteur commun PEN.
- **S** : N et PE séparés.

Types de SLT

Trois Schémas de Liaison à la Terre sont normalisés en France.

- **TT** : neutre à la terre (figure 1).

- **TN** : mise au neutre, avec trois versions

TN-C, TN-S et TN-C-S (figures 2, 3 et 4).

- **IT** : neutre isolé ou impédant (figure 5).

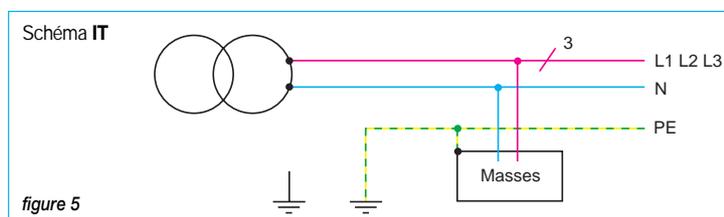
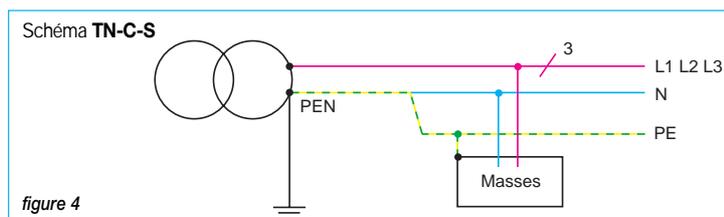
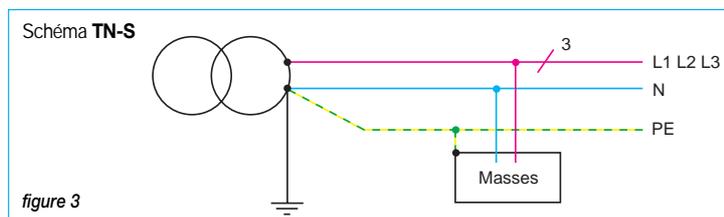
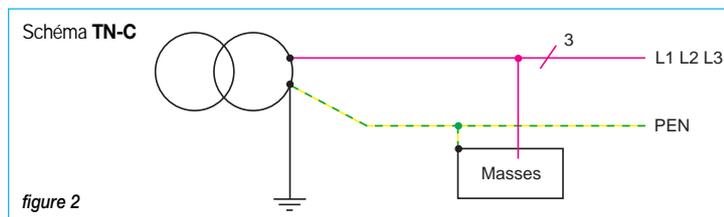
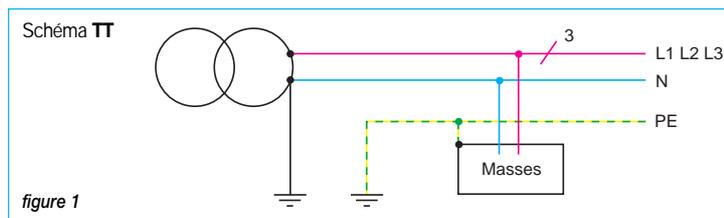
La mise en œuvre de ces différents schémas est présentée en détail en page 4.

Ces trois liaisons TT, TN, IT normalisés assurent une bonne protection des personnes et des biens contre les risques liés aux défauts d'isolement :

- chocs électriques pour les personnes,
- incendies ou explosion d'origine électrique pour les biens.

Mais leur choix influence aussi d'autres critères de fonctionnement des installations :

- continuité de service,
- surtensions,
- perturbations électromagnétiques (règles CEM).



Défauts d'isolement et risques

Défauts d'isolement

L'isolement des conducteurs et des pièces sous tension d'une installation électrique est réalisé par l'utilisation de matériaux isolants et/ou l'éloignement.

Lors de la mise en service d'une installation neuve, le risque de défaut d'isolement est très faible. L'installation vieillissant, ce risque augmente du fait de diverses agressions :

- détérioration mécanique de l'isolant d'un câble,
- poussières plus ou moins conductrices,
- forces électrodynamiques développées lors d'un court-circuit,
- surtensions de manœuvre, de foudre, surtensions en retour résultant d'un défaut d'isolement en MT,
- vieillissement thermique des isolants (grand nombre de câbles dans un circuit, harmoniques, surintensités...).

C'est généralement une combinaison de ces diverses agressions qui conduit au défaut d'isolement.

Le défaut d'isolement est :

- soit de mode différentiel (entre les conducteurs actifs) et devient un court-circuit,
- soit de mode commun (entre conducteurs actifs et masse ou terre).

Un courant de défaut - dit

de mode commun - circule alors dans le conducteur de protection (PE) et/ou dans la terre.

Les SLT en BT sont essentiellement concernés par les défauts de mode commun.

Risques liés au défaut d'isolement

Un défaut d'isolement, quelle que soit sa cause, présente des risques pour la vie des personnes, la conservation des biens, la disponibilité de l'énergie électrique (figure 6).

Risque de choc électrique

Ce risque n'est pas lié uniquement à la valeur de la tension appliquée au corps humain, mais aussi à celle du courant susceptible de le traverser et à la durée du contact.

En BT, la valeur de l'impédance du corps n'évolue pratiquement qu'en fonction de l'environnement : locaux secs et humides, et locaux mouillés. Pour ces deux cas, la norme CEI 479 -1 définit une tension de sécurité appelée **tension limite conventionnelle U_L** :

- $U_L = 50$ V pour les locaux secs ou humides,
- $U_L = 25$ V pour les locaux mouillés.

Toute tension de contact U_C supérieure à la tension U_L , nécessite l'élimination du défaut dans un temps au plus égal à celui fixé par les tableaux 41G et 48E de la NF C 15-100. (CEI 364 § 413.1.1.1).

Risque d'incendie

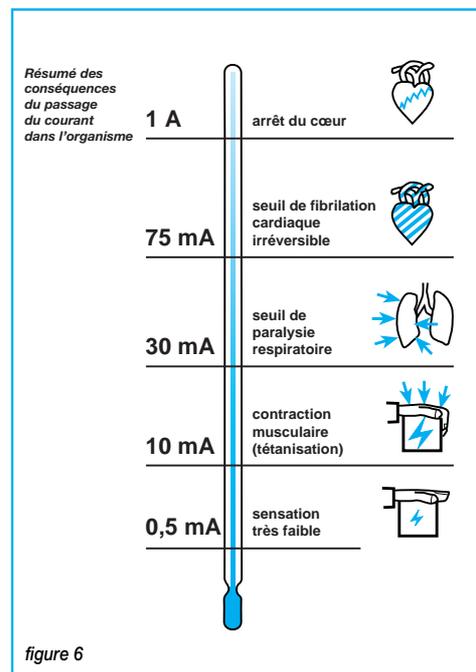
Bon nombre d'incendies ont pour origine un échauffement important et ponctuel ou un arc électrique provoqué par un défaut d'isolement. Le risque est d'autant plus important que le courant de défaut est élevé. Il est également fonction du degré du risque incendie ou explosion des locaux.

Risque de non disponibilité de l'énergie

Si, pour éliminer le défaut, la partie en défaut est déconnectée automatiquement, il en résulte un risque pour les personnes (manque subit d'éclairage, et/ou mise hors service d'équipements d'utilités du bâtiment) et un risque économique par perte de production. De plus, si le courant de défaut est élevé, les dégâts, dans l'installation ou dans

les récepteurs, peuvent être importants et augmenter les coûts et les temps de réparation.

La circulation de forts courants de défaut en mode commun (entre réseau et terre) peut également perturber des équipements sensibles " courants faibles ". Enfin, à la mise hors tension, l'apparition de surtensions et/ou de phénomènes de rayonnements électromagnétiques peuvent entraîner des dysfonctionnements voire des dégradations d'équipements sensibles.



Protection des personnes Contacts direct et indirect

Protection des personnes Rappel des principales normes

La norme CEI 364

C'est la norme internationale relative aux installations électriques du bâtiment.

Ses chapitres 41 et 54 ont le statut de norme fondamentale de sécurité et guident les prescriptions de sécurité de toutes les normes CEI.

L'adaptation française de la CEI 364 est la **norme NF C 15-100**

La publication UTE C 12-100

Elle regroupe une série d'arrêtés et le décret du 14 novembre 1962 actualisé par celui du

14 novembre 1988.

Ce décret reprend les dispositions du livre II du code du travail en ce qui concerne la protection des travailleurs.

La section IV porte également sur la protection des travailleurs contre les risques de contact avec les masses mises accidentellement sous tension.

Contact direct et mesures de protection

Il s'agit du contact accidentel de personnes avec un conducteur actif (phase ou neutre) ou une pièce conductrice habituellement sous tension.

Dans le cas où le risque est très important, on peut distribuer l'électricité sous une tension non dangereuse, c'est-à-dire inférieure ou égale à la tension de sécurité :

- très basse tension de sécurité (TBTS),
- très basse tension de protection (TBTP).

En BTA, les mesures de protection consistent à mettre ces parties actives hors de portée ou à les isoler par l'utilisation d'isolants, d'enveloppes et de barrières. Une mesure complémentaire contre les contacts directs consiste à utiliser des Dispositifs Différentiels Résiduels instantanés à Haute Sensibilité ≤ 30 mA appelés DDR-HS.

N.B. : *cette mesure est nécessaire dans tous les cas d'alimentation de circuits où la mise en œuvre du SLT en aval n'est pas maîtrisée ; en France, le décret du 14 novembre 1988 et la norme NF C 15-100 § 532-2-6 rend obligatoire cette mesure pour les prises de courant de calibre 32 A, et dans certains types d'installations (temporaire, de chantier...).*

Contact indirect, mesures de protection et de prévention

Le contact d'une personne avec des masses métalliques mises accidentellement sous tension est appelé **contact indirect**.

Cette mise sous tension accidentelle résulte d'un défaut d'isolement.

Un courant de défaut circule et provoque une élévation de potentiel entre la masse du récepteur électrique et la terre : il y a donc apparition d'une tension de défaut qui est dangereuse si elle est supérieure à la tension UL.

Vis-à-vis de ce risque, les normes d'installation - CEI 364 au niveau international, NF C 15-100 au niveau français - ont officialisé trois Schémas de Liaison à la Terre et défini les règles d'installation et de protection correspondantes.

Les mesures de protection contre les contacts indirects reposent sur trois principes fondamentaux :

- **la mise à la terre des masses des récepteurs et des équipements électriques,**
- **l'équipotentialité des masses simultanément accessibles,**
- **la gestion du risque électrique par la prévention,** mesure de l'isolement d'un équipement avant sa mise sous tension, surveillance continue de l'isolement d'une installation et par **l'élimination du défaut** par déconnexion.

Protection des personnes et des biens, continuité de service Schémas de Liaison à la Terre

Schéma TT

Principe

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 (figure 7).

résistance électrique R_A et R_B .

Pour simplifier le calcul nous négligeons les effet inductifs et capacitifs des câbles.

L'impédance de boucle du défaut se ramène donc aux résistances R_A et R_B .

Pour

$$U_0 = 230 \text{ V,}$$

$$R_A = 10 \Omega,$$

$$R_B = 5 \Omega,$$

le courant de défaut a pour valeur :

$$I_d = U_0 / (R_A + R_B) = 15,3 \text{ A}$$

Analyse d'un défaut d'isolement

Supposons qu'un défaut franc apparaisse entre une phase (ex : la phase 3) et la masse au niveau d'un récepteur.

Soit U_0 la tension simple du réseau (figure 8).

Calcul du courant de défaut

Les prises de terre des masses d'utilisation et du poste présentent respectivement une

Principe du schéma TT

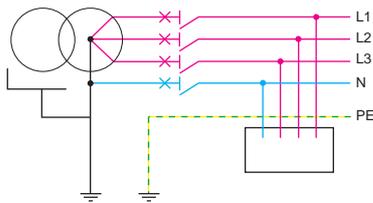


figure 7

Exemple de schéma TT

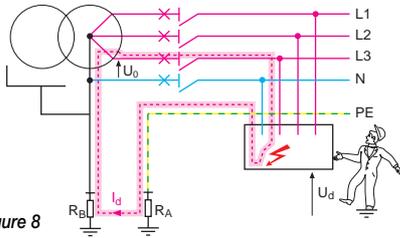


figure 8

Calcul de la tension de défaut

Une personne en contact avec la masse métallique du récepteur défectueux, sera soumise à un potentiel U_d :

$$U_d = U_0 \times R_A / (R_A + R_B) = 153 \text{ V.}$$

Ce potentiel est **dangereux** pour les personnes car très largement supérieur à la tension limite de contact ($U_L = 50 \text{ V}$).

Conclusion

Le défaut doit être éliminé par ouverture de la portion de circuit électrique défectueuse dans un temps inférieur au temps indiqué par les tableaux 41 GA et 48 GE de la C 15.100 (ici : 0,27 s pour 150 V). Pour cette intensité de défaut ($I_d = 15,3 \text{ A}$), le temps de déclenchement de la protection thermique du disjoncteur est trop long. Il convient d'utiliser une protection différentielle (Dispositif Différentiel Résiduel ou DDR) qui détectera l'intensité de défaut de mode commun I_d et qui provoquera l'ouverture immédiate du disjoncteur.

Schéma TN

Principe

Le principe de ce type de schéma dit de "mise au neutre" est de transformer tout défaut d'isolement en court-circuit monophasé phase neutre.

Dans ce type de schéma :

- le point neutre BT de chaque source est relié directement à la terre,
- toutes les masses de l'installation sont reliées au neutre et donc à la terre par le conducteur de protection (PE ou PEN).

Ce raccordement direct transforme tout défaut d'isolement en court-circuit phase-neutre qui sollicite les protections de surintensité,

- le conducteur de protection doit être maintenu à un potentiel proche de celui de la terre par des liaisons en de nombreux points, le plus souvent possible si des possibilités existent.

Trois types de schémas TN :

- TN-S** dans lequel un conducteur de protection (PE) distinct du neutre (N) est utilisé (figure 9),
- TN-C** dans lequel les fonctions de neutre et de protection sont combinées en un seul conducteur, appelé PEN (figure 10),
- TN-C-S** lorsque le schéma TN-S est réalisé en aval d'un schéma TN-C (figure 11).

N.B. : le schéma TN-S est obligatoire pour les réseaux ayant des conducteurs de section inférieure à 10 mm^2 en cuivre et 16 mm^2 en aluminium.

Schéma TN-S

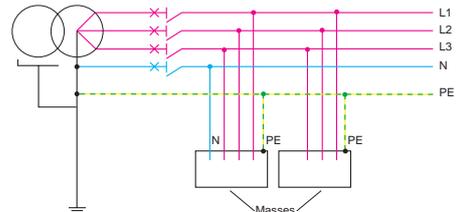


figure 9

Schéma TN-C

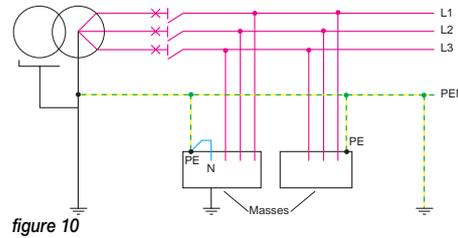


figure 10

Schéma TN-C-S

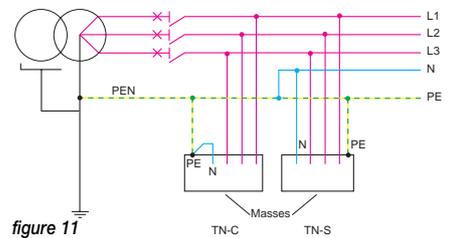
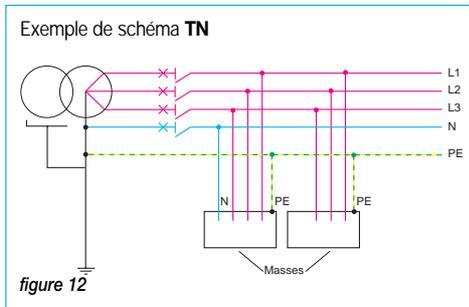


figure 11



Analyse d'un défaut d'isolement (fig.12)

Calcul de l'impédance de la boucle de défaut

Lors d'un défaut d'isolement, le courant de défaut I_d n'est limité que par l'impédance Z_b de la boucle de défaut (figure 12)

$Z_b = Z_{BCDEF} \quad I_d = U_0 / Z_b$, avec $U_0 = 230 \text{ V}$.

Prenons le cas d'un récepteur alimenté par un câble de 50 mm² de 50 m de long (section et longueur commune des phases et du PE), en négligeant les impédances de ligne AB et EF, on a :

- $Z_b \approx Z_{BCDE}$ (impédance de la portion de circuit BCDE),
- $Z_b \approx 2 Z_{DE}$ (en supposant $Z_{BC} = Z_{DE}$, les conducteurs BC et DE ayant même section et longueur, et en négligeant l'impédance du défaut Z_{CD}).

$Z_b = \rho L / S$ avec :

- ρ = résistivité du cuivre = $22,5 \cdot 10^{-3} \text{ } \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$,
- L = longueur du conducteur en m = 50 m,
- S = section du câble en mm² = 50 mm²,

$Z_b = 2 \times 22,5 \cdot 10^{-3} \times 50 / 50 = 45 \text{ m}\Omega$.

Calcul de la tension de défaut

En pratique, pour tenir compte des impédances en amont on admet une chute de tension de l'ordre de 20 % sur la tension simple U_0 , d'où : $U_{BE} = 0,8 U_0$. Comme $Z_{BC} = Z_{DE}$,

la masse du récepteur est donc portée à un potentiel : **$U_d = U_{BE} / 2 = 0,8 U_0 / 2 = 92 \text{ V}$**

Cette tension est dangereuse car supérieure à la tension limite conventionnelle U_L . Il faut impérativement mettre hors tension la partie de l'installation concernée.

Calcul du courant de défaut

$I_d = 0,8 U_0 / Z_b = 0,8 \times 230 / 45 \cdot 10^{-3} = 4089 \text{ A}$

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.

Conclusions :

Le courant de défaut est fonction de l'impédance de la boucle de défaut. Il faut donc s'assurer qu'en tout point du réseau, le courant de défaut reste supérieur au seuil de fonctionnement de la protection dans le temps maximum spécifié par les normes.

Moyennant cette vérification il est possible d'utiliser les dispositifs conventionnels pour les protections.

Mais ce schéma nécessite :

- un calcul des impédances de boucle,
- la connaissance de toutes les impédances de boucle, difficilement maîtrisable pour les prises de courant, d'où protection par DDR obligatoire,
- la vérification du déclenchement des protections à la mise en œuvre,
- des études complémentaires pour vérifier ces conditions lors de toute modification de l'installation.

Applications du schéma TN

Le schéma TN est principalement utilisé pour :

- des industries ne demandant pas la continuité de service obtenue avec le régime IT,
- des récepteurs à bas isolement (four...),
- du grand tertiaire ou des IGH.

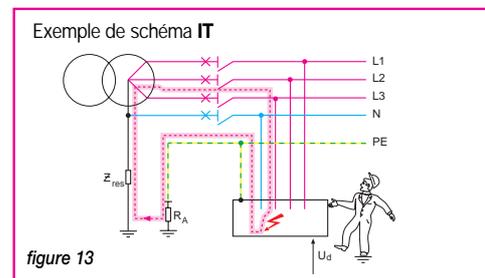
Par contre, le schéma TN est interdit dans les locaux à risque d'incendie ou d'explosion.

Schéma IT

Dans ce type de schéma, dit à "neutre isolé" (figure 13) :

- 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.

Bien que ce schéma soit dit à neutre isolé, il convient de prendre en compte le fait que toute installation n'a pas un niveau d'isolement infini. On trouve entre chacune des phases et la terre une impédance d'isolement qui varie en fonction du type de récepteurs installés, de la longueur et du vieillissement des câbles, des conditions hygrométriques, etc. L'impédance d'isolement du réseau Z_{RES} du schéma ci-après est définie par les câbles et les récepteurs. L'hypothèse de calcul, pour une installation électrique de 1 km de câble triphasé, avec présence de filtres antiparasites, donne la valeur de l'impédance résultante, soit $Z_{RES} = 3422 \text{ } \Omega$.



Analyse du premier défaut d'isolement (défaut simple)

Supposons qu'un défaut franc apparaisse entre une phase (ici la phase 3) et la masse au niveau d'un récepteur. Il s'agit d'un premier défaut, aussi appelé défaut simple.

Calcul du courant de défaut

Soit U_0 la tension simple du réseau.

La prise de terre du récepteur en défaut présente une résistance électrique R_A .

L'impédance de boucle du défaut comporte R_A et Z_{RES} . Pour $U_0 = 230\text{ V}$ et $R_A = 10\ \Omega$, le courant de défaut a pour valeur :

$$I_d = U_0 / (Z_{RES} + R_A) = 67\text{ mA}$$

Ce courant est faible car limité par l'impédance d'isolement du réseau, principalement due à la capacité d'isolement des câbles.

Calcul de la tension de défaut

Si une personne est en contact avec la masse métallique du récepteur défectueux, elle sera soumise à un potentiel U_d de valeur :

$$U_0 = U_0 \times R_A / (Z_{RES} + R_A) = 0,67\text{ V}$$

Ce potentiel très largement inférieur à la tension limite de contact U_L (25 V pour des locaux mouillés) n'est donc pas dangereux.

Conclusions

En cas de défaut simple le potentiel de défaut U_d n'est pas dangereux pour les personnes.

Il est cependant souhaitable d'éliminer le défaut rapidement pour ne pas prendre le risque qu'un autre défaut survienne, amenant une situation de double défaut qui provoque le déclenchement des protections.

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.

Analyse du deuxième défaut (défaut double)

Alors que le premier défaut n'est pas éliminé, un autre défaut d'isolement peut apparaître sur l'installation. Si ce défaut intervient sur le même conducteur que le premier, il ne se passera rien de plus que précédemment, si ce n'est une baisse encore plus importante du niveau d'isolement général du réseau.

En revanche, si le défaut intervient sur un autre conducteur actif, deux cas peuvent se présenter :

- cas de masses interconnectées (figure 14)

Les masses d'utilisation sont interconnectées entre elles et à la prise de terre du poste (R_A). Nous sommes en présence d'un court-circuit phase-phase ou phase-neutre.

Les protections contre les courts-circuits sont chargées d'éliminer ce courant de défaut, cas de groupes de masses non interconnectées (figure 15). Les masses d'utilisation ne sont pas toutes interconnectées entre elles par exemple R_B est distincte.

Ce cas revient à un schéma TT. Il faut donc protéger chaque groupe de masses par des protections différentielles.

Applications du schéma IT

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.

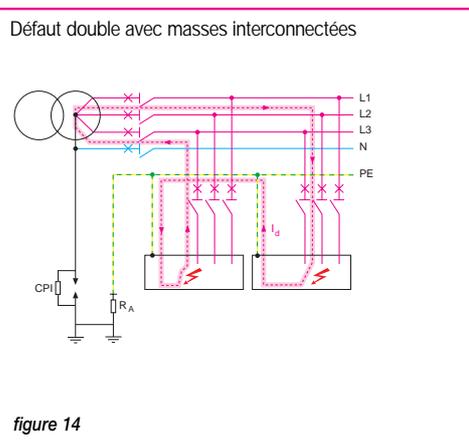


figure 14

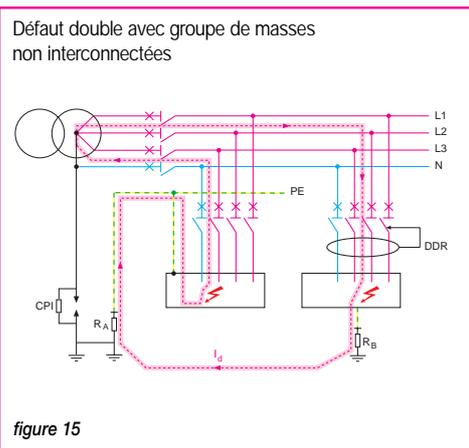


figure 15

Perturbations électromagnétiques

Rappels

Les perturbations électromagnétiques ont le plus souvent comme origine des phénomènes internes à l'installation. Elles mettent en œuvre trois éléments :

- la **source** génère les perturbations par des variations brusques de grandeurs électriques (tension ou courant),
- le **mode de couplage** :
 - capacitif ou galvanique (transmission à travers un transformateur),
 - inductif (transmission par rayonnement d'un champ magnétique),
 - par impédance commune, transmission via une prise de terre,
 - la victime désigne tout matériel susceptible d'être perturbé (en général un matériel électronique).

Tensions et courants harmoniques

Les installations industrielles incluent de plus en plus de systèmes électroniques dont les circuits d'alimentation sont du type à découpage. Ces circuits génèrent des courants harmoniques importants qui circulent dans les conducteurs actifs. Ces phénomènes de mode différentiel (entre conducteurs actifs), n'influent pas avec les Schémas de Liaison à la

Terre qui ne sont sensibles qu'aux phénomènes de mode commun (entre conducteurs actifs et masse ou terre).

Seul le schéma **TN-C**, qui combine les modes commun et différentiel puisque le neutre et PE sont confondus (PEN), est sensible aux harmoniques (de rang 3 et multiples) qui circulent dans le neutre, affectant son équipotentialité.

Couplage par impédance commune

Il est nécessaire d'utiliser des "électroniques flottantes" (totalement découplées) pour ces systèmes (figure 16).

Couplage inductif

En schéma TN-C (figure 17) les courants circulant dans le conducteur PEN (notamment les harmoniques de rang 3), créent des rayonnements électromagnétiques dans les chemins de câbles et les structures.

Il est recommandé :

- de connecter à la terre le chemin de câbles le plus souvent possible et de vérifier sa continuité,
- d'éviter de positionner des électroniques sensibles près des structures métalliques,
- de réduire au maximum les boucles de courant.

Courants importants dans le PE

Certains Schémas de Liaison à la Terre sont propices au développement de forts courants de défaut d'isolement (TNS - TNC - IT interconnecté en situation de double défaut). En cas de défaut d'isolement :

- une chute de tension importante apparaît le long du PE pouvant gêner la transmission de données,
- de même un rayonnement électromagnétique intense est généré lors de ce défaut et induit des tensions transitoires dans toute boucle de courant.

Solutions : pour réduire cette perturbation interne :

- découplage galvanique des électroniques sensibles,
- interconnexion multiple des matériels et des structures métalliques,
- utilisation de SLT à courant de défaut faible.

Foudre au sol et couplage par impédance commune

Lorsque la foudre frappe le sol, elle peut provoquer une perturbation par couplage par impédance commune, résultant de l'élévation de potentiel des prises de terre. En effet, le point d'impact

au sol de l'éclair se trouve porté à un potentiel très élevé. Autour de ce point, le potentiel du sol va être soumis à un gradient de potentiel décroissant à mesure que l'on s'en éloigne. Si une prise de terre se situe près du point d'impact, son potentiel par rapport à la terre profonde va s'élever. Ce phénomène peut se répercuter sur les autres prises par le biais des interconnexions des masses.

En schéma TN-C, le conducteur PEN peut être parcouru par un courant important. La chute de tension dans le PEN se répercute le long des blindages ce qui peut perturber les équipements communicants

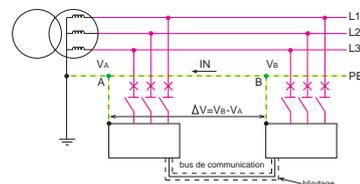


figure 16

Rayonnement du courant de défaut en TN-C, qui peut induire un flux dans les boucles du courant

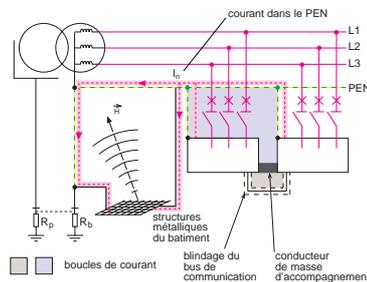


figure 17

Schéma TT ou IT non interconnecté

Les prises de terre du neutre et des masses d'utilisations sont différentes et peuvent être séparées par une distance importante (cas de la distribution publique).

Il y a donc un risque que des prises de terre soient soumises à un fort potentiel dû à la foudre, et crée un déséquilibre des tensions de référence provoquant des claquages par surtension (amorçage phase-masse) dans certains matériels (figure 18).

Solution : en schéma TT ou IT non interconnecté, il est conseillé de connecter des parafoudres au plus près des équipements sensibles.

Schéma TN-S ou IT interconnecté

L'ensemble des prises de terre du neutre et des utilisations BT sont interconnectées ou confondues. La résistance commune ou résultante est RPAB. Si cette prise de terre est située dans un gradient de potentiel, l'ensemble du réseau, y compris les masses d'utilisation, verra son potentiel s'élever par rapport à la terre profonde. La connexion à la liaison équipotentielle principale du bâtiment, soit directe, soit par parafoudre, de tous les systèmes entrant (téléphone, câble vidéo, bus de communication...) est donc nécessaire (figure 19).

Cas particulier du schéma TN-C

Le schéma TN-C demande une connexion fréquente du conducteur PEN à la terre afin d'assurer le mieux possible son équipotentialité.

En effet, en cas de coup de foudre, une des mises à la terre de ce PEN peut se trouver " piégée " dans un gradient de potentiel important. Le déséquilibre de tension a lieu entre la résistance de cette prise de terre et les autres prises de terre, amenant une chute de tension le long du PEN.

Solution : pour réduire les perturbations internes, quel que soit le SLT, une installation de haut niveau kéronique nécessite une protection par parafoudre. En schéma TT et TN-S, une protection de mode commun et de mode différentiel ; en schéma IT et TN-C, une protection de mode commun.

La foudre peut perturber le potentiel de certaines masses par l'intermédiaire de prises de terre proches du point d'impact

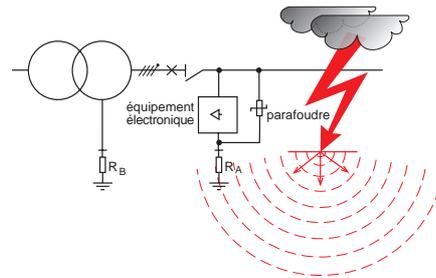


figure 18

Effet de la foudre en schéma TN ou IT interconnecté

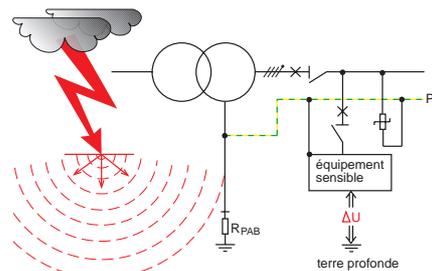


figure 19

Effet de la foudre en schéma TN-C

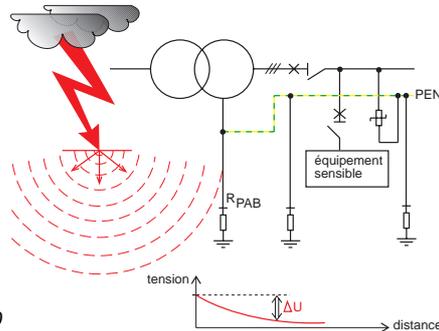


figure 20

Rayonnements

Cas général

Les perturbations électromagnétiques peuvent provenir de sources externes par rayonnements. Les champs électromagnétiques émis induisent des tensions parasites dans des boucles (voir CEI 364-444) et peuvent perturber certains équipements électroniques. Ces phénomènes ne sont pas directement liés aux SLT qui sont sur un pied d'égalité face à ces perturbations. Les solutions mises en jeu sont générales et indépendantes des SLT. Lorsque la foudre frappe le sol, un fort champ électromagnétique crée des surtensions dans toute les boucles conductrices. Ces boucles sont constituées, soit par la distribution de puissance elle même, soit formée par la distribution de puissance et d'autres éléments conducteurs (systèmes de télécommunication, masses, tuyauteries...).

Foudre au sol en schéma TT

En cas de coup de foudre proche d'une installation BT, le champ électromagnétique engendre un flux au travers de la boucle naturelle du schéma TT. Cette boucle est constituée par la ligne BT aérienne de distribution publique, la prise de terre individuelle d'une maison en milieu

rural, la terre et la prise de terre du point neutre du transformateur EDF. Cette boucle peut être de grande surface, surtout si l'habitation est très éloignée du poste de livraison. Ici aussi, un parafoudre est nécessaire près des équipements sensibles aux surtensions (figure 21).

Foudre au sol en schéma TN

La boucle décrite en schéma TT peut ne pas exister si le PE est posé à proximité des conducteurs actifs et que l'ensemble est interconnecté à une seule prise de terre (figure 22).

Foudre au sol en schéma IT

- le phénomène décrit pour le schéma TT peut se retrouver en schéma IT si les prises de terre sont séparées et non interconnectées,
- si les prises sont interconnectées, cette boucle n'existe pratiquement pas puisque le PE est posé à proximité des conducteurs actifs et que l'ensemble est interconnecté à une seule prise de terre.

Courants vagabonds

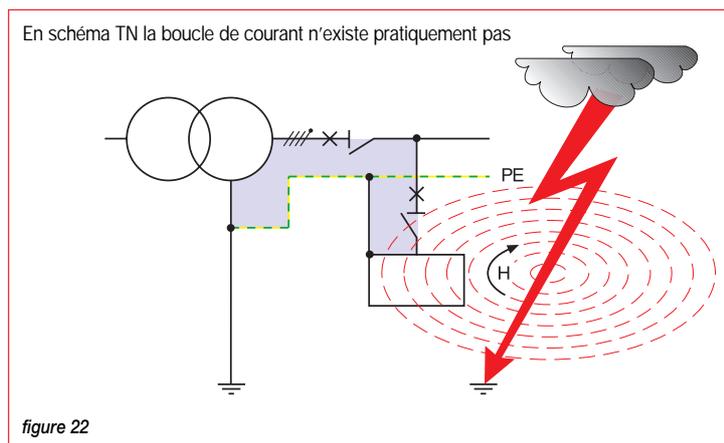
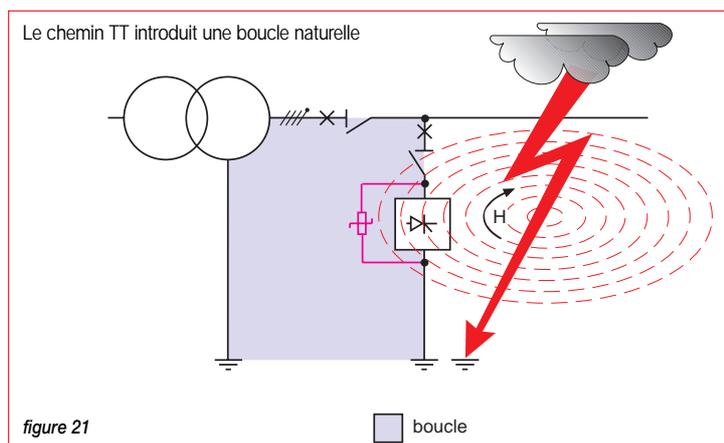
Des courants " vagabonds " circulent dans la terre. Ce sont typiquement des courants telluriques à basses fréquences ou des courants à fréquence industrielle provenant de défaut HT. Ces courants peuvent affecter les prises de terre rencontrées. Leur influence se fait sentir dans

le cas où plusieurs prises de terre existent dans une même installation électrique, notamment en schémas TT, TN-C, IT non interconnecté.

- **TT** : de faibles déséquilibres de tension peuvent apparaître entre les prises de terre du neutre et les prises de terre des masses d'utilisation,
- **TN-C** : ces mêmes déséquilibres sont possibles entre les différentes prises

de terre du PEN et influent alors sur l'équipotentialité de ce dernier,

- **IT non interconnecté** : la situation est similaire à celle du schéma TT. Ces mêmes courants " vagabonds " sont souvent responsables de la corrosion des prises de terre car ils contiennent une part importante de composante continue.



Comparatif des SLT

(Voir tableau comparatif page 12).

Aucun régime de neutre n'est universel et tous les SLT permettent d'assurer une égale protection contre les chocs électriques dès lors qu'ils sont mis en œuvre et utilisés en conformité avec les normes.

Le choix d'un SLT n'est pas toujours possible. Les propres choix techniques du distributeur d'énergie pour son réseau, la puissance de l'installation et les normes peuvent imposer un SLT ou limiter le choix.

Un choix n'est pas forcément unique pour l'ensemble de l'installation, plusieurs SLT peuvent coexister à l'intérieur d'une même installation pour répondre à divers besoins du site concerné.

Des critères de comparaison développés ci-après peuvent guider ce choix :

1^{er} critère : protection des personnes contre les chocs électriques

Sur ce critère tous les régimes de neutre sont équivalents dès lors qu'ils sont mis en œuvre et utilisés en conformité avec les normes.

Mais :

- schéma TN : il faut être vigilant en cas d'extension de l'installation car la protection des personnes est entièrement basée sur la continuité du conducteur de protection, la maîtrise des impédances de boucle et la bonne adéquation des

réglages des protections avec ces impédances.

Il faut donc s'assurer que les extensions ne modifient pas ces conditions.

- schéma IT : mêmes recommandations pour ce qui concerne le défaut double.

2^{ème} critère : protection des biens contre les incendies ou explosions d'origine électrique

Schémas TT et IT

L'exploitation correcte d'installation en schéma TT et IT conduit à un risque d'incendie quasi nul et le schéma IT est conseillé dans les installations présentant des risques d'explosion.

• Schéma TN :

en exploitation normale le TN-C présente un risque d'incendie plus élevé que les autres.

En effet, le courant de déséquilibre des charges parcourt en permanence non seulement le conducteur PEN, mais aussi les éléments qui lui sont raccordés : charpentes métalliques, masses, blindages, etc. Pendant un court-circuit, les énergies dissipées dans ces trajets non prévus augmentent considérablement.

La valeur élevée des courants de défaut :

- interdit le TN-C dans les locaux à risques,
- oblige en TN-S à prévoir des DDR pour ces mêmes locaux.

3^{ème} critère : continuité d'alimentation

Le schéma IT est celui qui favorise la meilleure continuité d'alimentation en évitant le déclenchement au premier défaut d'isolement. Il impose de contrôler l'isolement par un CPI et de disposer d'un service entretien compétent.

Le réseau à neutre isolé prend tout son intérêt si on détecte les vrais défauts d'isolement dès leur apparition grâce à la gamme Vigilohm System qui permet de détecter automatiquement et immédiatement les départs en défauts, y compris les défauts fugitifs.

C'est ce que fait le CPI XM200 avec les détecteurs XD301 (1 départ) ou XD312 (12 départs) associés à des tores fermés ou ouvrants. Pour satisfaire les sites les plus exigeants en disponibilité, nous offrons des produits qui permettent de mesurer la résistance et la capacité départ par départ et de communiquer ces informations en local et en supervision pour aller vers la maintenance préventive, afin de ne jamais subir le défaut terre avec les appareils suivants XM300C, XD308C, XL308, XL316, et interfaces XAS locales, XL1200, XL1300, XTU300 suivant la configuration de l'installation.

4^{ème} critère : protection contre les surtensions

Un défaut sur la HT, claquage du transformateur ou foudre sur réseau aérien, peut avoir des répercussions pour les équipements sensibles, principalement électroniques qui ont une tenue d'isolement faible.

Pour éliminer ce risque, il est nécessaire en schéma TT d'installer au plus proche des récepteurs des parafoudres.

En schéma IT le matériel doit pouvoir supporter la tension composée entre les phases saines et la terre après un premier défaut et un limiteur de surtension est obligatoire.

En schéma TN, l'élévation du potentiel du point neutre BT par rapport à la terre, en cas de défaut, occasionne un risque de contact indirect dangereux entre masses et terre.

5^{ème} critère : compatibilité électromagnétique

Le schéma TN-C est déconseillé en présence d'harmoniques. Les harmoniques de rang 3 et multiples de 3, provoquent une perte d'équipotentialité du PEN et des rayonnements électromagnétiques dans les chemins de câbles et dans les structures métalliques des bâtiments.

Tableau comparatif des SLT

Les comparaisons des critères de ce tableau se font ligne par ligne.
Les indications portées ne sont pas comparables entre lignes différentes.

Critères de comparaison		TT	TN-S	TN-C	IT1*	IT2*
Protection des personnes contre les chocs électriques	contacts indirects	+	+	+	+	+
	contacts directs	+	+	+	+	+
Protection des personnes contre les risques d'incendie ou d'exploitation d'origine électrique	incendie-explosion	-	--	interdit	+	--
Continuité d'alimentation	creux de tension	+	-	-	++	-
	sélectivité	-	+	+	++	+
	déclenchement	-	-	-	+	-
	temps de recherche	-	+	+	-	+
	temps de réparation	--	---	---	-	---
Protection contre les surtensions	foudre sur HT	-	+	+	+	+
	claquage transformateur	-	+	+	+	+
Compatibilité électromagnétique (CEM)	rayonnements	+	-	--	++	-
	chutes de tension	+	-	-	++	-
	harmoniques	+	+	--	+	+
Coûts à la conception	étude de sélectivité	-	+	+	++	+
	calcul de L max	+	-	-	++	-
à l'installation	nombre de câbles	+	+	++	+	+
	nombre de pôles	+	+	++	+	+
	pose des câbles	-	--	--	++	--
	matériels spécifiques	-	+	+	-	+
	recherche de défaut	-	+	+	--	+
à l'exploitation	coût des réparations	--	---	---	-	---
	vérification des connexions	+	-	-	++	-
	facilité d'extensions	+	-	-	+	-

*IT1 = schéma IT en situation de 1^{er} défaut

*IT2 = schéma IT en situation de double défaut.

Pour le critère considéré :

+ = avantage relatif du schéma

- = inconvénient relatif du schéma

Exemples d'application

La distribution de l'énergie électrique de l'usine de traitement des eaux de Méry-sur-Oise

L'énergie électrique est distribuée à partir d'une livraison EDF en 63 kV, puis transformée en 20 kV. Compte tenu de l'étendue du site de Méry-sur-Oise et de l'implantation géographique des centres d'utilisation de l'énergie, la distribution est réalisée par plusieurs boucles 20 kV qui alimentent les postes de transformation 20 kV/3,2 kV

ou 20 kV/400 V. Cette distribution en boucle assure la continuité de l'alimentation HTA et pallie le défaut possible sur une tranche de distribution 20 kV.

En aval des transformateurs, pour répondre avec le plus haut niveau de disponibilité possible à la demande d'eau potable dans la tranche 1 de l'usine de Méry, le Schéma de Liaison à la Terre est du type neutre isolé IT.

Ce choix préférentiel assure la meilleure continuité de service en exploitation, et lors d'un défaut d'isolement, l'intensité du défaut est très faible.

En permanence les CPI



Transformateur France-Transfo 63/20 kV.



Cellules moyenne tension Merin Gerin MC 500.

surveillent l'isolement, et la signalisation du premier défaut est automatique. Les limiteurs de surtensions installés près des transformateurs écoulent le défaut à la terre en cas de défaut HT ou claquage de transformateur. Mais ces défauts sont très rares. Par contre, il est impératif de disposer d'un personnel d'entretien pour la surveillance en exploitation et pour la recherche du défaut signalé, afin d'éviter le déclenchement des dispositifs de protection sur double défaut. Sur un site aussi étendu, la localisation est parfois difficile, et il faut intégrer l'effet capacitif des câbles qui peut contribuer à la baisse du niveau d'isolement global.



Armoire de distribution installée à l'IUFM - Saint-Denis.

La distribution électrique selon le schéma IT dans l'enseignement (IUFM de Créteil - site de Saint-Denis)

Chaque installation constitue en fait un cas particulier, qui ne peut être appréhendé qu'au regard de ses propres contraintes d'exploitation. Il apparaît donc que l'étude des circuits de distribution électrique selon le schéma IT en sections de BTS électrotechnique, de Baccalauréat Professionnel E.I.E., ou de BEP électrotechnique ne peut pas se réduire à une approche livresque très générale.

Des études de cas, s'appuyant sur des installations réelles, sont souvent proposées aux élèves et aux étudiants.

Ces études, en fixant un cahier des charges précis tiré de la réalité, permettent de mettre en évidence des problèmes plus concrets et les solutions qui y ont été apportées.

Mais elles ne permettent pas :

- de vérifier expérimentalement les résultats,
- d'acquérir les savoir-faire liés aux matériels spécifiques utilisés dans ce type de distribution : réglage d'un CPI, recherche manuelle ou semi-automatique d'un premier défaut, contrôle de niveau d'isolement, mesure du temps d'ouverture d'un DDR sur double défaut.

Ces aspects pratiques sont pourtant essentiels, en particulier pour des élèves de BEP ou de Bac. Professionnel.

C'est pourquoi les guides d'équipement de la filière électrotechnique prévoient l'existence d'un "îlot IT" dans la "zone des systèmes".

Cet îlot IT est constitué par un local spécifique alimenté :

- par défaut selon le schéma TT (obligatoire dans un établissement scolaire),
 - selon le schéma IT sur choix volontaire du professeur responsable (considéré comme personne qualifiée).
- Une signalisation lumineuse adaptée informe alors les utilisateurs.

Une installation de ce type a été réalisée au Centre Scientifique et Technologique de Saint-Denis de l'IUFM de Créteil.

Elle a été validée par l'organisme de contrôle chargé de l'établissement et est donc parfaitement "légale". Elle permet, lorsque le mode de distribution IT est choisi, d'effectuer un certain nombre de travaux pratiques relatifs aux savoir-faire présentés ci-dessus.

Antonio Rodriguez
IUFM de Créteil

Etude d'une distribution électrique selon le schéma IT

Le texte qui suit est un exemple de travaux pratiques proposé en 1998-1999 aux professeurs PLP2 Génie Electrique. Il a été développé par l'IUFM de Créteil, CST de Saint-Denis, département Génie Electrique.

Présentation

L'étude porte sur l'îlot I.T., installé dans le laboratoire des systèmes, qui permet d'alimenter la salle **sur choix de l'utilisateur** selon le schéma à neutre isolé. Cette installation est en principe représentative de nombreuses situations industrielles, à un facteur d'échelle près. Le travail proposé suppose une étude attentive des normes en vigueur, du schéma électrique de l'armoire de distribution, et de la documentation du constructeur des disjoncteurs et du C.P.I.

La distribution selon le schéma IT ("régime IT")

Ce mode de distribution est largement utilisé dans l'industrie.

Justifier un tel choix. S'informer sur l'état actuel de la normalisation en la matière.

L'installation didactique : l'îlot IT

Justifier le rôle des différents appareillages installés dans l'armoire de distribution. Quelles règles ont été respectées pour permettre la commutation TT - IT dans de bonnes conditions de sécurité ? L'installation est-elle conforme aux normes ?

Exploitation de l'installation didactique

Niveau d'isolement

Le niveau d'isolement du neutre par rapport à la terre est contrôlé en permanence. Quel est le principe mis en œuvre dans l'appareil effectuant ce contrôle permanent, qui lui permet de détecter indifféremment un défaut d'isolement neutre-terre ou phase-terre ? Mesurer la valeur courante du niveau d'isolement. Déterminer le seuil à partir duquel une alarme indique une isolation insuffisante. Quelle est la plage de réglage de ce seuil ?

Comportement de l'installation sur défauts

- Premier défaut : des défauts successifs d'isolement à la terre sont signalés. Proposer une procédure manuelle de recherche de chaque défaut ne nécessitant pas d'appareillage spécialisé. Quelle sont les limites de cette démarche dans un contexte industriel ? S'informer sur le principe du dispositif de recherche de défauts existant. Mettre en œuvre ce dispositif pour localiser les défauts. Comment se serait comportée une installation équivalente, mais réalisée selon le schéma TT, lors de chaque défaut ? Conclure.

- Second défaut : un premier défaut signalé est acquitté, mais non supprimé. De nouveaux défauts apparaissent successivement. Expliquer le comportement de l'installation dans chaque cas. Que doit-il se passer lors de deux défauts d'isolement francs sur deux conducteurs différents ? Comment peut-on provoquer cette situation en toute sécurité ? Créer ces deux défauts et relever le courant de défaut $I_d(t)$ Commenter ce relevé.

- Sécurité des personnes en cas de double défaut : l'installation du site est très peu étendue. On suppose néanmoins, lors d'un double défaut franc d'isolement sur deux phases différentes :
 - que les deux défauts d'isolement à la masse sont situés sur deux départs distincts, et suffisamment "loin" de la source pour que l'on puisse admettre que les lignes qui les alimentent ont les mêmes longueurs,
 - qu'ils sont suffisamment proches géographiquement pour permettre un contact simultané avec les deux masses métalliques en défaut,
 - que les tensions de sortie de la source sont égales à 80 % des valeurs nominales pendant le double défaut.

Déterminer dans ces conditions si un utilisateur, en contact simultané avec les deux masses métalliques en défaut, se trouve en danger.

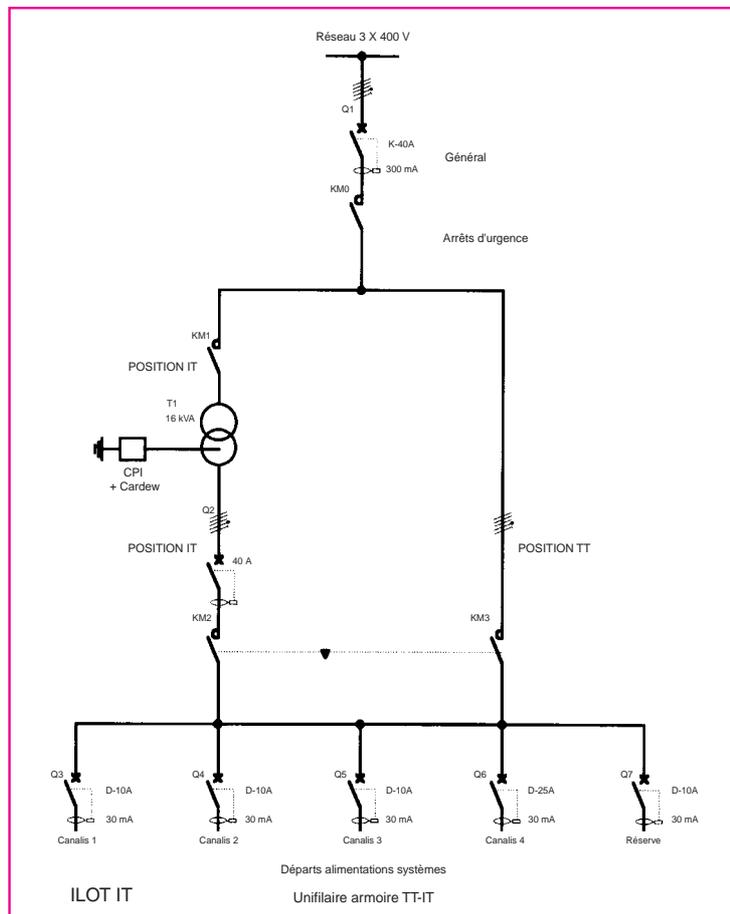
Contrôle de la sélectivité

Justifier la courbe de déclenchement des disjoncteurs installés dans l'armoire. Les disjoncteurs divisionnaires installés sont différentiels. Pourquoi ? La sélectivité est-elle toujours assurée entre

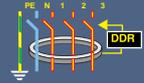
le disjoncteur général et les disjoncteurs divisionnaires ? Vérifier cette propriété en provoquant en toute sécurité une série de doubles défauts.

Exploitation pédagogique

Proposer une séquence pédagogique, à caractère expérimental, visant à mettre en évidence, avec des élèves de Baccalauréat Professionnel E.I.E., les spécificités d'une distribution selon le schéma IT.



Appareillage

TT	TN	IT
Dispositifs différentiels résiduels 	Dispositifs contre les surintensités 	Limiteur de surtension contrôleur permanent d'isolement 
 <p>0,5 à 125 A Système multi 9</p>	 <p>0,5 à 125 A Disjoncteur multi 9 (ou fusible)</p>	 <p>Limiteur de surtension Cardew C (transfo HT/BT)</p>
 <p>100 à 630 A Compact + Vigi</p>	 <p>80 à 3 200 A Disjoncteur Compact</p>	 <p>Contrôle permanent d'isolement Vigilohm/Vigilohm system</p>
 <p>1 à 8 000 A Vigirex + tores</p>	 <p>800 à 6 300 A Disjoncteur Masterpact</p>	 <p>Recherche automatique Vigilohm system</p>
<p>Prévention possible avec : → Vigirex option P → Compact NS avec bloc surveillance isolement</p>	<p>Si les conditions de protection des personnes et des biens ne sont pas remplies utiliser des DDR en TN-S</p>	 <p>Recherche manuelle Vigilohm system</p> <p>Au 2ème défaut protection par dispositifs contre les surintensités</p>

Bibliographie

Principales normes et décrets

- CEI 364 : installation électrique des bâtiments,
- CEI 479 : effets du courant électrique passant par le corps humain,
- NF C 15-100 : installations électriques à basse tension,
- NF C 63-080 : dispositifs de contrôle permanents d'isolement et dispositifs de localisation de défauts associés.

Les Cahiers Techniques

- N° 172 : les Schémas de Liaison à la Terre,
- N° 173 : les Schémas de Liaison à la Terre dans le monde et évolutions,
- N° 177 : les Perturbations des Systèmes Electroniques et Schémas de Liaison à la Terre.

Les derniers Cahiers Techniques parus peuvent être téléchargés sur Internet à partir du site Schneider.
Code : <http://www.schneider-electric.com>
Rubrique : **maîtrise de l'électricité**



Avertissement

Schneider dégage toute responsabilité consécutive à l'utilisation incorrecte des informations et schémas reproduits dans le présent guide, et ne saurait être tenu responsable ni d'éventuelles erreurs ou omissions, ni de conséquences liées à la mise en œuvre des informations et schémas contenus dans ce guide.