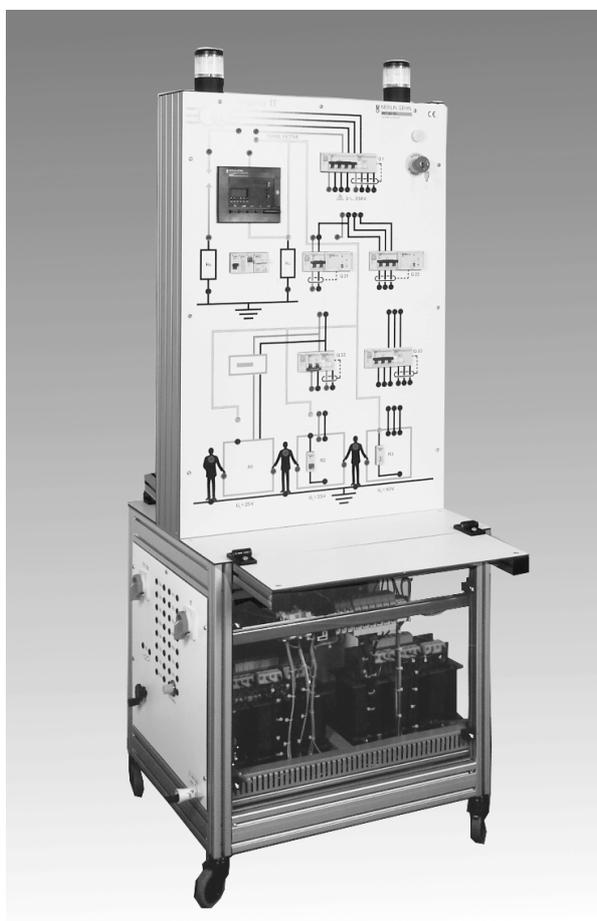


Banc d'étude des Schémas de Liaison à la Terre avec recherche automatique de défaut

Manuel de travaux pratiques



Merlin Gerin

Modicon

Square D

Telemecanique

Schneider
 **Electric**

Banc d'étude des Schémas de Liaison à la Terre avec recherche automatique de défaut

Manuel de travaux pratiques

AVERTISSEMENTS Tous les exemples développés dans ce manuel sont d'ordre pédagogique, et peuvent à ce titre ne pas représenter totalement la réalité. Ils ne doivent donc en aucun cas être utilisés, même partiellement, pour des applications industrielles, ni servir de modèle pour de telles applications.

Les produits présentés dans ce manuel sont à tout moment susceptibles d'évolutions quant à leurs caractéristiques de présentation, de fonctionnement ou d'utilisation. Leur description ne peut en aucun cas revêtir un aspect contractuel.

L'Institut Schneider Formation accueillera favorablement toute demande de réutilisation, à des fins didactiques, des graphismes ou des applications contenus dans ce manuel.

© CITEF S.A. Toute reproduction de cet ouvrage est strictement interdite sans l'autorisation expresse de l'Institut Schneider Formation.

Avant propos

Le banc d'étude des régimes du neutre, avec l'aide du présent manuel, permet de réaliser des travaux pratiques mettant en évidence le besoins et critères de protection liés à une distribution électrique en BTA.

■ Ce banc a fait l'objet d'une certification ; il est conçu et réalisé en conformité avec les normes et principes de sécurité des personnes et des biens. Néanmoins, étant alimenté par un réseau triphasé 400 V alternatif, sa manipulation exige **un minimum de précautions** pour s'affranchir des risques d'accident liés à l'utilisation de matériel sous tension.

Les travaux pratiques devront donc se faire sous la responsabilité d'un enseignant, ou de toute personne habilitée et formée aux manipulations de matériels sous tension.

■ Prendre connaissance de l'ensemble de la documentation du banc, et conserver soigneusement celle-ci.

Respecter scrupuleusement les avertissements et instructions figurant dans la documentation comme sur le banc lui-même.

Pour la mise en service du banc et ses conditions d'environnement, se conformer précisément aux instructions données au chapitre 1.

■ Symboles utilisés :

3 ~ courant alternatif triphasé



attention



Borne de terre

Sommaire général

	<i>page</i>
1 Introduction	5
1.1 Les Schémas de Liaison à la Terre	
1.2 Objectifs de formation	
1.3 Description du banc	
1.4 Conditions d'utilisation	
1.5 Mise en service et mesures de sécurité	
1.6 Programme de travaux pratiques	
2 Travaux pratiques	27
Remarques préliminaires	
2.1 Le régime TT	
2.2 Le régime TN	
2.3 Le régime IT	
3 Annexes	73
3.1 Courbe de déclenchement des disjoncteurs	
3.2 Rappel de la norme NF C15-100 (temps de coupure)	
3.3 Cahier Technique Schneider n°172	
3.4 Cahier Technique Schneider n°173	
3.5 Cahier Technique Schneider n°177	

1

Chapitre

Introduction

Sommaire	Page
1.1 Objectifs de formation	6
1.2 Les schémas de liaison à la terre	7
1.3 Description du banc	18
1.4 Conditions d'utilisation	22
1.5 Mise en service et mesures de sécurité	23
1.6 Programme de travaux pratiques	25

1.1 Objectifs de formation

- découvrir
- approfondir
- maîtriser

■ **Ce banc est destiné** à faire réaliser des manipulations aux élèves des lycées techniques et professionnels sur les différents régimes du neutre en BTA. Les objectifs de ces travaux pratiques peuvent être résumés de la façon suivante :

Outils et méthodes	Compréhension et assimilation des mécanismes de l'électrification	<input type="radio"/> <input type="radio"/>
	Interprétation des différents régimes du neutre et schématisation des circuits électriques	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
	Choix des moyens de protection d'une installation	<input type="radio"/> <input type="radio"/>
	Détermination des courants de défaut	<input type="radio"/>
	Application des exigences normatives	<input type="radio"/>
Savoirs-faire	Câblage électrique	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
	Exploitation des catalogues	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
	Mise en œuvre et réglage des appareils	<input type="radio"/> <input type="radio"/>
	Détermination des résistances de prises de Terre	<input type="radio"/> <input type="radio"/>
	Notion de sélectivité différentielle	<input type="radio"/>
Composants (technologies et comportements)	Disjoncteurs magnéto-thermiques	<input type="radio"/> <input type="radio"/>
	Dispositifs DDR	<input type="radio"/> <input type="radio"/>
	Disjoncteurs spécifiques	<input type="radio"/> <input type="radio"/>
	Interrupteurs différentiels	<input type="radio"/> <input type="radio"/>

1.2 Les schémas de liaison à la terre (régimes du neutre)

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

Après avoir rappelé les risques liés aux défauts d'isolement des installations portant atteinte à la sécurité des personnes et des biens, ce paragraphe présente les trois SLT définis par les normes CEI 364 et NF C 15.100.

Chaque SLT, encore appelé régime de neutre, est examiné en terme de sécurité et de disponibilité, ainsi que vis-à-vis de la protection contre les surtensions et les perturbations électromagnétiques.

■ Evolution des besoins

Aujourd'hui les 3 SLT, longtemps appelés régimes de neutre tels que définis par la CEI 364 et la norme NF C 15-100, sont :

- la mise au neutre TN ;
- le neutre à la terre TT ;
- le neutre isolé (ou impédant) IT.

Ces trois schémas ont une même finalité en terme de protection des personnes et des biens : la maîtrise des effets des défauts d'isolement. Ils sont considérés comme équivalents sur le plan de la sécurité des personnes contre les contacts indirects.

Il n'en est pas nécessairement de même pour la sûreté de l'installation électrique BT en ce qui concerne :

- la disponibilité de l'énergie ;
- la maintenance de l'installation.

Ces grandeurs chiffrables font l'objet d'exigences de plus en plus fortes dans les usines et les immeubles tertiaires.

■ Causes des défauts d'isolement

Pour assurer la protection des personnes et la continuité d'exploitation, les fils conducteurs et les pièces sous tension d'une installation électrique sont "isolés" par rapport aux masses reliées à la terre.

L'isolement est réalisé par :

- l'utilisation de matériaux isolants ;
- l'éloignement qui nécessite des distances d'isolement dans les gaz (par exemple dans l'air) et des lignes de fuite (concernant l'appareillage par exemple, chemin de contournement d'un isolateur).

Un isolement est caractérisé par des tensions spécifiées qui, conformément aux normes, sont appliquées aux produits et aux équipements neufs :

- tension d'isolement (plus grande tension du réseau) ;
- tension de tenue au choc de foudre.

Exemple pour un tableau BT de type Prisma :
 - tension d'isolement : 1 000 V ;
 - tension de choc : 12 kV.

Lors de la mise en service d'une installation neuve, réalisée selon les règles de l'art avec des produits fabriqués selon les normes, le risque de défaut d'isolement est très faible ; l'installation vieillissant, ce risque augmente.

En effet, celle-ci est l'objet de diverses agressions qui sont à l'origine de défauts d'isolement ; citons à titre d'exemple :

- durant l'installation,
- la détérioration mécanique de l'isolant d'un câble ;
- pendant l'exploitation,
- les poussières plus ou moins conductrices,
- le vieillissement thermique des isolants dû à une température excessive ayant pour causes :
 - le climat,
 - un nombre de câbles trop important dans un conduit,
 - une armoire mal ventilée,
 - les harmoniques
 - les surintensités...
- les forces électrodynamiques développées lors d'un court-circuit qui peuvent endommager un câble ou diminuer une distance d'isolement,
- les surtensions de manœuvre, de foudre,
- les surtensions 50 Hz en retour résultant d'un défaut d'isolement en MT.

C'est généralement une combinaison de ces causes primaires qui conduit au défaut d'isolement. Celui-ci 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, ou homopolaire (MT) - 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 dont l'occurrence la plus forte se situe au niveau des récepteurs et des câbles.

■ **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, tout ceci relevant de la sûreté.

Risque d'électrisation des personnes

Une personne (ou un animal) soumise à une tension électrique est électrisée.
 Protéger l'homme des effets dangereux du courant électrique est prioritaire ; le risque d'électrisation est donc le premier à prendre en compte.

Effets du courant alternatif (15 à 1 000 Hz) sur le corps humain	
1 A	Arrêt du cœur
75 mA	Seuil de fibrillation cardiaque irréversible
30 mA	Seuil de paralysie respiratoire
10 mA	Contraction musculaire (tétanisation)
0,5 mA	Sensation très faible

Risque d'incendie

Ce risque, lorsqu'il se matérialise, peut avoir des conséquences dramatiques pour les personnes et les biens. 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

La maîtrise de ce risque prend de plus en plus d'importance. En effet si, pour éliminer le défaut, la partie en défaut est déconnectée automatiquement, il en résulte :

- un risque pour les personnes, par exemple :
 - manque subit d'éclairage,
 - mise hors service d'équipements utiles à la sécurité ;
 - un risque économique du fait de la perte de production. Ce risque doit être particulièrement maîtrisé dans les industries à process pour lesquelles le redémarrage peut être long et coûteux.
- 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, surtout si ceux-ci font partie d'un système "courants faibles" géographiquement réparti avec des liaisons galvaniques.

Enfin, à la mise hors tension, l'apparition de surtensions et/ou de phénomènes de rayonnement électromagnétique peuvent entraîner des dysfonctionnements, voire des dégradations d'équipements sensibles.

■ Quelques rappels

Terminologie

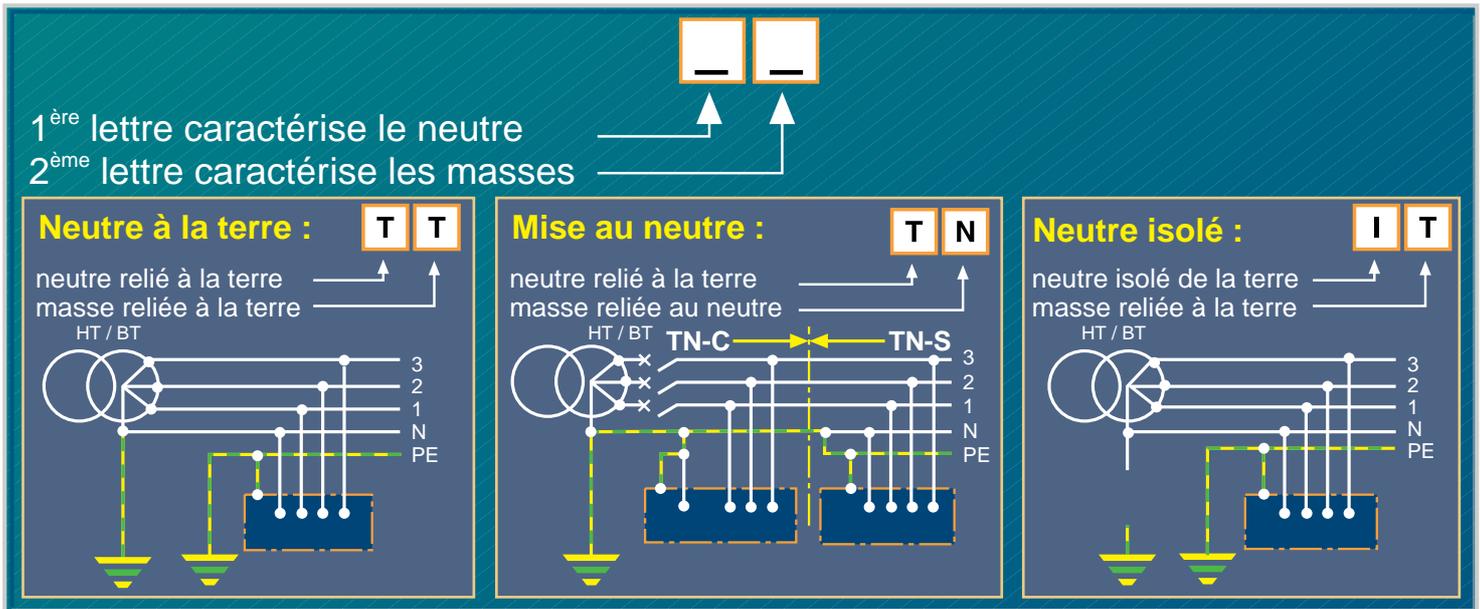
Les risques d'électrisation, voire d'électrocution sont, dans ce paragraphe, précisés pour les différents schémas des liaisons à la terre, tels que définis par le Comité Electrotechnique International dans la norme CEI 364.

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

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

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

La combinaison de ces deux lettres donne trois configurations possibles :



neutre du transformateur

si T
si I

-> masse

-> T ou N,
-> T

soit : TT, TN et IT.

Nota 1 :

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

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

A noter que le TN-S est obligatoire pour les réseaux ayant des conducteurs de section $\geq 10 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$.

Nota 2 :

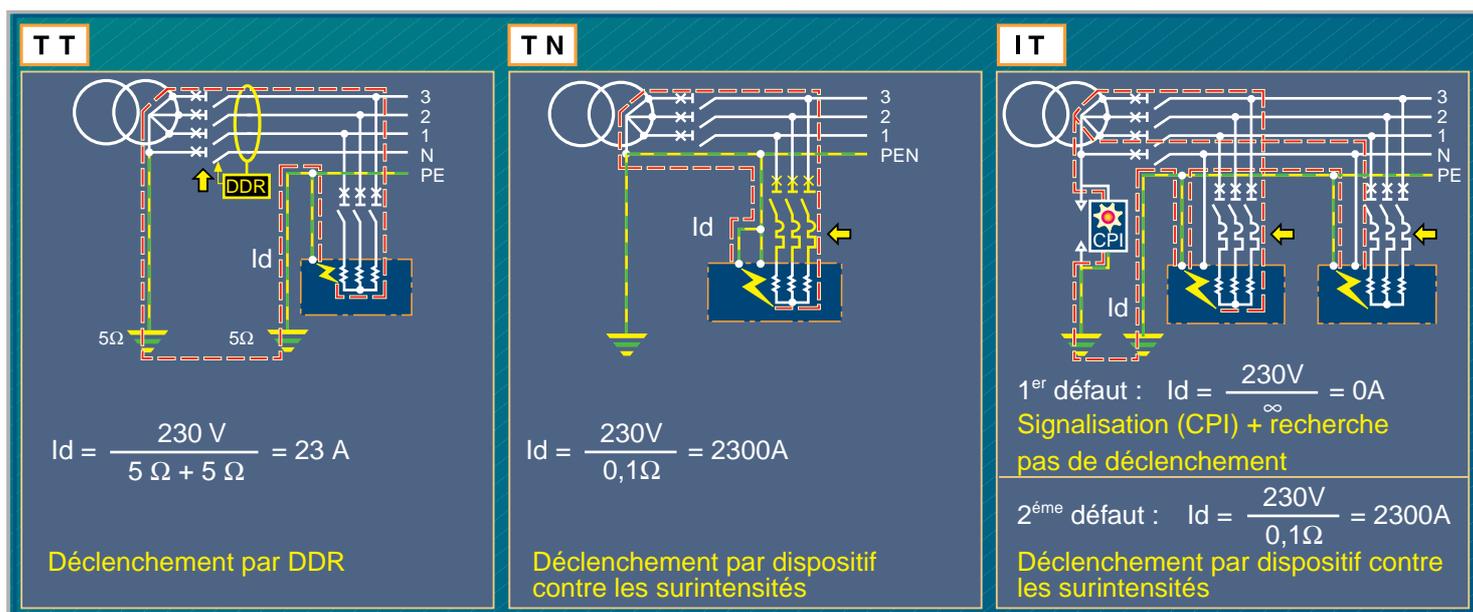
Chaque SLT peut s'appliquer à l'ensemble d'une installation électrique BT ; mais plusieurs SLT peuvent coexister dans une même installation.

■ Exemple de calcul simplifié du courant de fuite à la terre

TT En présence d'un défaut d'isolement, le courant de défaut I_d est essentiellement limité par les résistances de terre (si la prise de terre des masses et la prise de terre du neutre ne sont pas confondues).

Ce courant de défaut induit une tension de défaut dans la résistance de terre des utilisations.

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



TN En présence d'un défaut d'isolement, le courant de défaut I_d n'est limité que par l'impédance des câbles de la boucle de défaut. Pour les réseaux 230/400 V, cette tension de l'ordre de $U_0/2$ (si RPE = Rph) est dangereuse car supérieure à la tension limite de sécurité, même en milieu sec ($U_L = 50 \text{ V}$). Il est alors nécessaire d'assurer une mise hors tension automatique et immédiate de l'installation ou de la partie de l'installation. Le défaut d'isolement étant similaire à un court-circuit phase-neutre, la coupure est réalisée par les dispositifs contre les surintensités.

IT Comportement au 1^{er} défaut :

- le neutre étant isolé de la terre, il n'y a pas de circulation de courant de défaut I_d . La tension n'étant pas dangereuse l'installation peut-être ainsi maintenue en service. Le CPI (Contrôleur Permanent d'Isolement) ayant signalé ce 1^{er} défaut, il faut le rechercher et l'éliminer avant que ne survienne un 2^e défaut. Comportement au 2^e défaut :

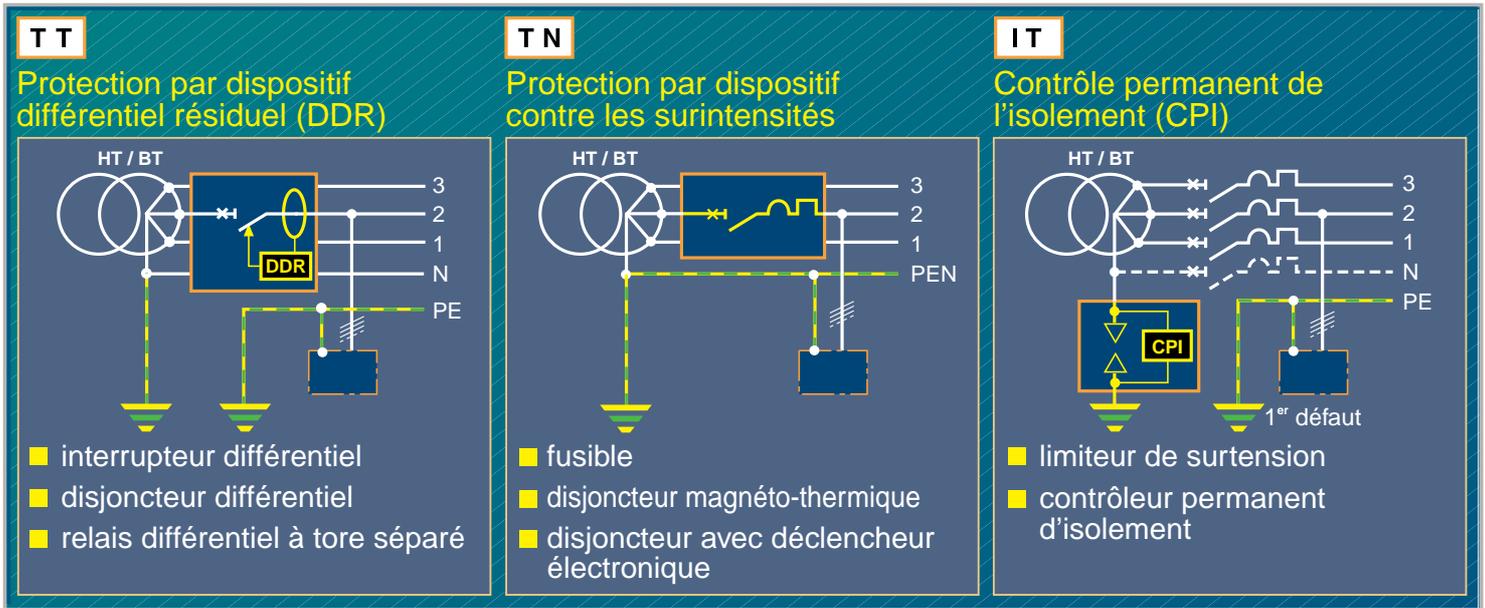
- si le défaut concerne le même conducteur actif, rien ne se passe et l'exploitation peut continuer. Mais lorsque le défaut concerne deux conducteurs actifs différents (défaut double) il se produit un court-circuit (comme en TN). La coupure est réalisée par les dispositifs contre les surintensités.

■ Fonctionnalité

TT Subir le "défaut terre"... mais limiter les conséquences, en mettant en œuvre des dispositifs différentiels détectant le défaut terre avant que ce dernier ne dégénère en court-circuit. C'est le principe des réseaux à "neutre à la terre" TT qui permet l'adjonction de départs supplémentaires en leur associant simplement un DDR.

C'est le champion de la sécurité !

- Dans ce cas, comme pour les courts-circuits, la seule contribution que l'on peut apporter à la disponibilité consiste à l'amélioration de la sélectivité, en installant plusieurs étages de protection



différentielle, afin de réduire la coupure à la plus petite partie du réseau.

- A noter, les DDR sont :
 - intégrés ou adaptables au disjoncteur et interrupteur avec la gamme Multi 9 de 0,5 à plus de 100 A,
 - intégrés au disjoncteur avec le bloc Vigì de 100 à 630 A,
 - intégrés au disjoncteur avec le bloc de surveillance d'isolement,
 - à tore séparé avec les Vigirex de 100 à 6300A qui permettent de signaler une absence de source auxiliaire sans provoquer le déclenchement (évite le réarmement) mais aussi de prévenir la baisse d'isolement sans provoquer le déclenchement, avec un contact préalarme qui agit à la moitié du seuil affiché.
- Ex : réglé à 300mA, il prévient à 150mA.

TN Subir le défaut ... mais provoquer le déclenchement pour se protéger

Ce défaut est analogue à un court-circuit, donc violent et destructeur et c'est alors le disjoncteur qui déclenche au 1er défaut.

- C'est le principe des réseaux "raccordés" au neutre TN qui permettent de ne pas mettre de protections complémentaires du type différentiel ou CPI. De ce fait, c'est le champion de l'économie à l'installation ! Ce principe s'avère très vite coûteux en cas de modifications ou d'extensions. De plus, il met à rude épreuve les installations par les effets de court-circuit sur les câbles et les récepteurs, ainsi que les chutes de tension pouvant perturber les ordinateurs, etc...
- Pour minimiser les conséquences du défaut à la seule partie du réseau concernée, il faut mettre en place les méthodes de sélectivité ampèremétrique, chronométrique ou énergétique.
- Une autre possibilité est offerte avec la mise en place du TNS directement en aval du transfo, ce qui donne l'avantage de déclencher par les DDR du fait de la détection avant le court-circuit.
- Un vaste choix de disjoncteur mono/tri/tétra permet de répondre parfaitement de 1 à plus de 6 300 A avec les gammes Multi 9, Compact, Masterpact.

IT Rendre le défaut inoffensif en utilisant des réseaux à neutre isolé IT

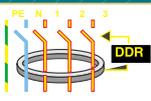
Cette solution consiste à s'attaquer non pas à l'effet, mais à la cause, en limitant le courant de défaut à quelques mA.

Dans un réseau à neutre isolé IT ou impédant, le défaut n'étant pas dangereux, il n'est pas nécessaire de déclencher et l'exploitation peut continuer.

C'est le champion de la disponibilité !

- Par contre laisser un défaut terre sur un tel réseau, revient à laisser une liaison directe entre le réseau et la terre, comme précédemment.
- Dans ce cas, l'apparition d'un 2ème défaut crée un courant dangereux qui doit provoquer un déclenchement de même nature que dans les réseaux à la terre TT ou TN.
- C'est pourquoi, ce type de réseau à neutre isolé ne prend tout son intérêt que si l'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 (la bête noire des utilisateurs). C'est ce que fait le CPI XM200 avec les détecteurs XD301 (1 départ) ou XD312 (12 départs) associés à des tores A fermés ou OA 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 local, XL1200, XL1300, XTU300 suivant la configuration de l'installation.

■ 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 :</p> <ul style="list-style-type: none"> → Vigirex option P → Compact NS + bloc surveillance isolement 	<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>

■ Critères de choix des schémas des liaisons à la terre

Leurs performances s'apprécient selon les cinq critères énumérés ci-après :

- la protection contre les chocs électriques ;
- la protection contre l'incendie d'origine électrique ;
- la continuité d'alimentation ;
- la protection contre les surtensions ;
- la protection contre les perturbations électromagnétiques.

La synthèse des propriétés de chaque schéma des liaisons à la terre aboutit à la comparaison technique exprimée ci-après.

Protection contre les chocs électriques

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.

Protection contre le risque d'incendie d'origine électrique

Dans le schéma TT, et IT lors du premier défaut d'isolement, l'intensité du courant entraîné par ce défaut est respectivement faible ou très faible, et le risque d'incendie est faible.

En revanche :

- en cas de défaut franc, l'intensité du courant entraîné par le défaut d'isolement est élevée dans les schémas de type TN, et les dommages occasionnés sont importants.
- en cas de défaut impédant, les schémas TN réalisés sans dispositifs différentiels ne présentant pas une protection suffisante, le passage au schéma TN-S associé à l'emploi de dispositifs différentiels est recommandé.
- en exploitation normale, le schéma 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 y sont raccordés : charpentes métalliques, masses, blindages, etc. Pendant un court-circuit, les énergies dissipées dans ces trajets non prévus augmentent considérablement. C'est pourquoi le schéma TN-C est interdit dans les locaux à risque d'explosion ou d'incendie.

Continuité d'alimentation

Le choix du schéma IT évite toutes les conséquences néfastes du défaut d'isolement :

- le creux de tension ;
- les effets perturbateurs du courant de défaut ;
- les dommages aux équipements ;
- l'ouverture du départ en défaut.

Son exploitation correcte rend le second défaut réellement improbable.

Remarque : c'est toujours une association de dispositions qui concourent à la continuité d'alimentation : doublement des sources, ASI (onduleurs), sélectivité des protections, schéma IT, service entretien, etc.

Protection contre les surtensions

Dans tous les schémas des liaisons à la terre, une protection peut être nécessaire. Pour la choisir, il est nécessaire de prendre en compte l'exposition du site, la nature de l'établissement et de son activité.

Puis il faut décider le nombre et la qualité des zones équipotentielles pour mettre en œuvre les protections nécessaires (parafoudres, etc.) sur les lignes des différents systèmes électriques entrants ou sortants.

Remarques :

- le schéma TT nécessite plus souvent l'emploi de parafoudres ;
- aucun schéma ne dispense de ces mesures ;
- en schéma IT, la protection contre les surtensions dues aux défauts MT doit être réalisée par un limiteur de surtension.

Protection contre les perturbations électromagnétiques

Le choix du schéma est indifférent :

- pour toutes les perturbations de mode différentiel ;
- pour toutes les perturbations (mode commun ou mode différentiel) de fréquence supérieure au MHz.

Les schémas TT, TN-S et IT peuvent donc satisfaire à tous les critères de compatibilité électromagnétique. On notera seulement que le schéma TN-S amène davantage de perturbations pendant la durée du défaut d'isolement, car le courant de défaut est plus élevé. En revanche les schémas TN-C ou TN-C-S sont déconseillés : dans ces schémas, le conducteur PEN, les masses des matériels et les blindages des câbles sont parcourus par un courant permanent lié au déséquilibre des charges. Ce courant permanent crée des chutes de tension perturbatrices entre les masses des matériels sensibles reliés au PEN. La présence d'harmoniques de rang multiple de trois a amplifié nettement ce courant dans les installations modernes.

■ Synthèse

	TT	TN-C	TN-S	IT
Sécurité des personnes	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★
Sécurité des biens				
■ contre les risques d'incendie	★★★★	★	★★	★★★★
■ protection des matériels ⁽¹⁾	★★★★	★	★	★★★★
Disponibilité d'alimentation	★★	★★	★★	★★★★
Influence des perturbations électromagnétiques ⁽²⁾	★★	★	★★	★★

	excellent		bon		moyen		mauvais
--	-----------	---	-----	--	-------	---	---------

(1) En cas de défaut d'isolement.

(2) Ensemble des perturbations électromagnétiques :

- externes : défaut sur réseau de distribution HT, surtensions de manœuvre, surtensions d'origine atmosphérique...
- interne : courants de défaut d'isolement, harmoniques sur réseau BT.

■ Choix des SLT et conclusion

Les trois SLT mondialement utilisés et normalisés par la CEI 364 ont pour objectif commun la recherche de la meilleure sûreté. Sur le plan de la protection des personnes, les 3 SLT sont équivalents si l'on respecte toutes les règles d'installation et d'exploitation.

Etant données les caractéristiques spécifiques à chaque SLT, il ne peut donc être question de faire un choix a priori.

Ce choix doit résulter d'une concertation entre l'utilisateur et le concepteur de réseau (Bureaux d'études installateur...) sur :

- les caractéristiques de l'installation ;
- les conditions et impératifs d'exploitation.

Il est illusoire de vouloir exploiter un réseau à neutre isolé dans une partie d'installation qui, par nature, possède un niveau d'isolement faible (quelques milliers d'ohms) : installations anciennes, étendues, avec lignes extérieures... De même, il serait contradictoire, dans une industrie où la continuité de service ou de productivité est impérative et les risques d'incendie importants, de choisir une exploitation en mise au neutre.

Méthodologie pour choisir les SLT

- Tout d'abord, ne pas oublier que les trois SLT peuvent coexister dans une même installation électrique ; ce qui est une garantie pour obtenir la meilleure réponse aux besoins de sécurité et de disponibilité.
- Ensuite, s'assurer que le choix n'est pas recommandé ou imposé par les normes ou la législation (décrets, arrêtés ministériels).
- Puis dialoguer avec l'utilisateur pour connaître ses exigences et ses moyens :
 - besoin de continuité de service,
 - service entretien ou non,
 - risque incendie.

Globalement :

- continuité de service et service entretien : la solution est l'IT,
- continuité de service et pas de service entretien : pas de solution totalement satisfaisante ; préférer le TT pour lequel la sélectivité au déclenchement est plus facile à mettre en œuvre et qui minimise les dégâts par rapport au TN.

Les extensions sont simples à réaliser (pas de calcul).

- continuité de service non impérative et service entretien compétent : préférer le TN-S (réparation et extensions rapides et exécutées selon les règles),
- continuité de service non impérative et pas de service entretien : préférer le TT,
- risque d'incendie : IT si service entretien et emploi de DDR 0,5 A ou TT.

• Tenir compte de la spécificité du réseau et des récepteurs :

- réseau très étendu ou à fort courant de fuite : préférer le TN-S,
- utilisation d'alimentations de remplacement ou de secours : préférer le TT,
- récepteurs sensibles aux forts courants de défaut (moteurs) : préférer le TT ou l'IT,

- récepteurs à faible isolement naturel (fours) ou avec filtre HF important (gros ordinateurs) : préférer le TN-S,
- alimentation des systèmes de contrôle-commande : préférer l'IT (continuité de service) ou le TT (meilleure équipotentialité des appareils communicants).

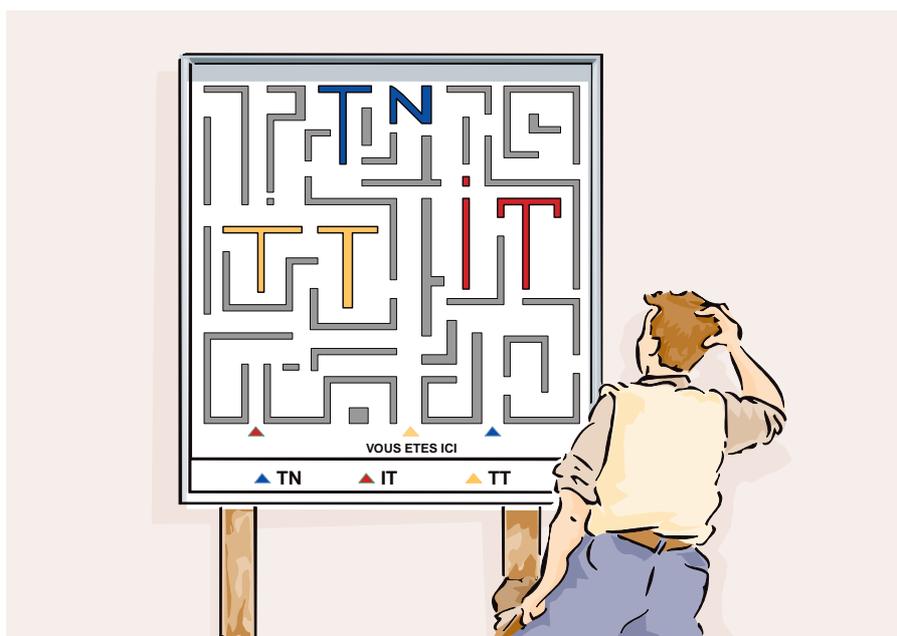
Conclusion

N'utiliser qu'un seul SLT n'est pas toujours le meilleur choix. Il convient donc, dans beaucoup de cas de mettre en œuvre plusieurs SLT dans une même installation.

En règle générale, une installation "en râteau", en distinguant bien les prioritaires, en utilisant des sources de secours ou des alimentations sans interruption, est préférable à une installation monolithique arborescente.

Pour en savoir plus, consultez en annexe les extraits des "Cahiers Techniques" publiés par Schneider Electric

- C.T. n° 172 - Les SLT en BT
- C.T. n° 173 - Les SLT dans le monde et évolution
- C.T. n° 177 - Perturbations des systèmes électroniques et SLT



1.3 Description du banc

■ Alimenté par un **réseau triphasé 400 V** avec neutre sorti, de puissance supérieure ou égale à 4 KVA, ce banc, équipé de deux transformateurs d'isolement 400 V/230 V, permet en toute sécurité de mettre en évidence les raisons des décrets, règlements et normes en vigueur sur la protection des personnes.

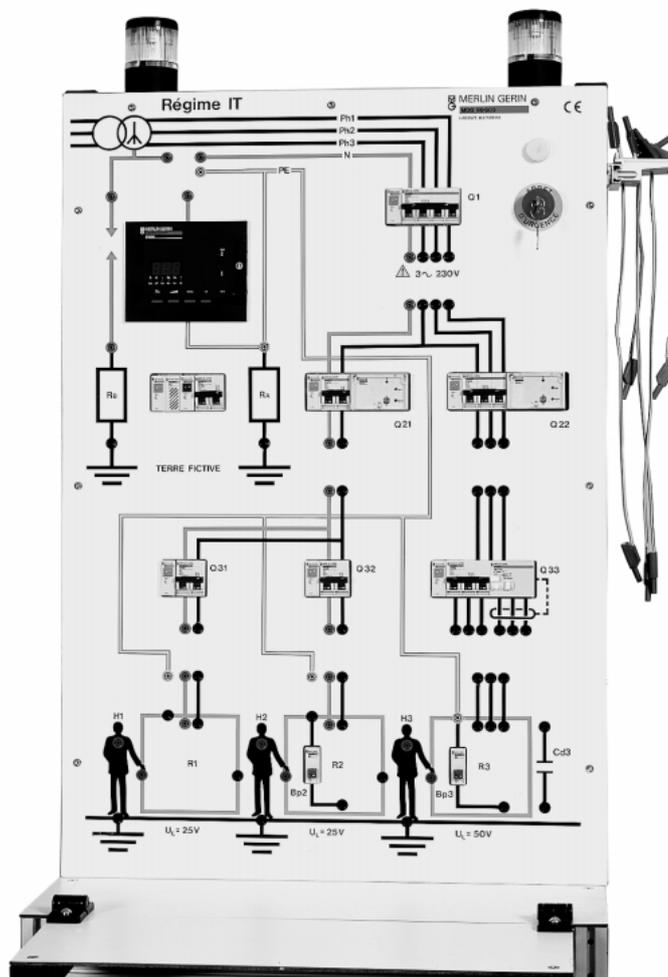
■ **Deux surfaces de travail** peuvent être utilisées en même temps, et sont destinées, l'une à des manipulations sur le régime TT ou TN, l'autre à des manipulations sur le régime IT.

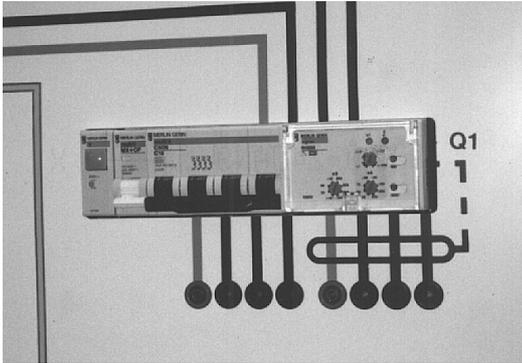
Deux récepteurs monophasés (R1 et R2) et un récepteur triphasé (R3) ont été représentés. Pour examiner divers cas de figure, il est supposé que les récepteurs se trouvent dans des locaux de classes diverses, pour lesquels les tensions limites conventionnelles U_L sont déterminées par la norme NF C 15-100 :

- soit 25 V (locaux 1 et 2) Conditions mouillées (BB2)

- soit 50 V (local 3) Conditions normales (BB1)

Le récepteur R3 est supposé installé dans un local qui présente un risque d'incendie.

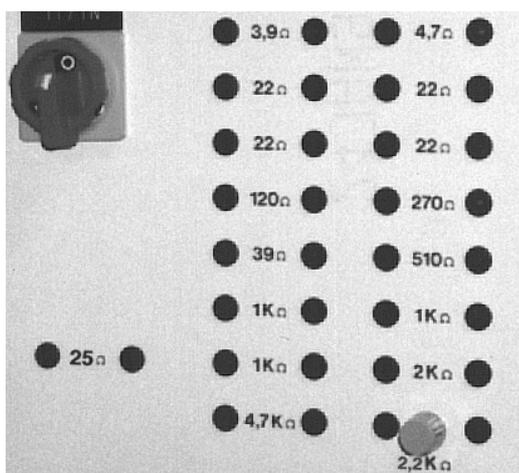
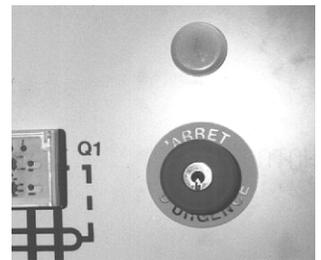
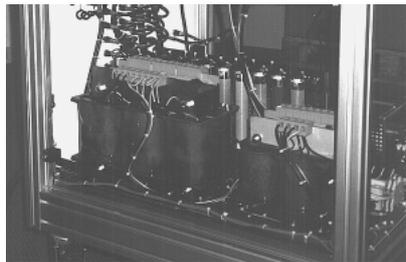
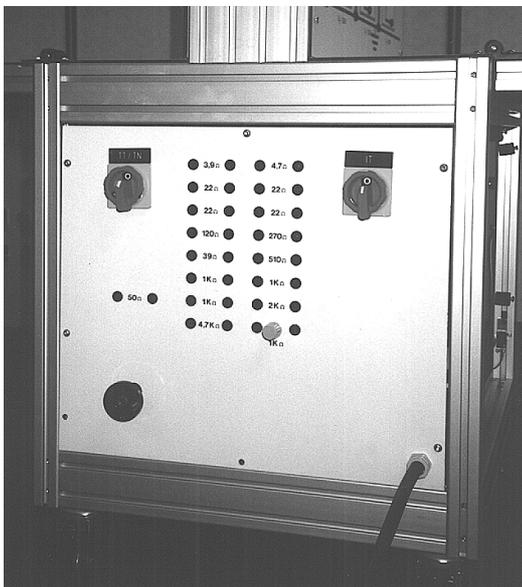




■ **Les circuits disposent d'organes de protection** appropriés, dont les fonctions sont étudiées au fil des travaux pratiques : disjoncteurs magnétothermiques, disjoncteurs différentiels, interrupteurs différentiels.

■ **L'alimentation électrique** de chaque surface de travail est indépendante, et chacune comporte :

- un interrupteur général, situé sur le panneau du socle,
- un transformateur d'isolement, situé dans le socle : 400 V primaire / 230 V secondaire entre phases,
- un dispositif d'arrêt d'urgence (« coup de poing ») et un voyant de mise sous tension, situés sur chaque surface de travail.



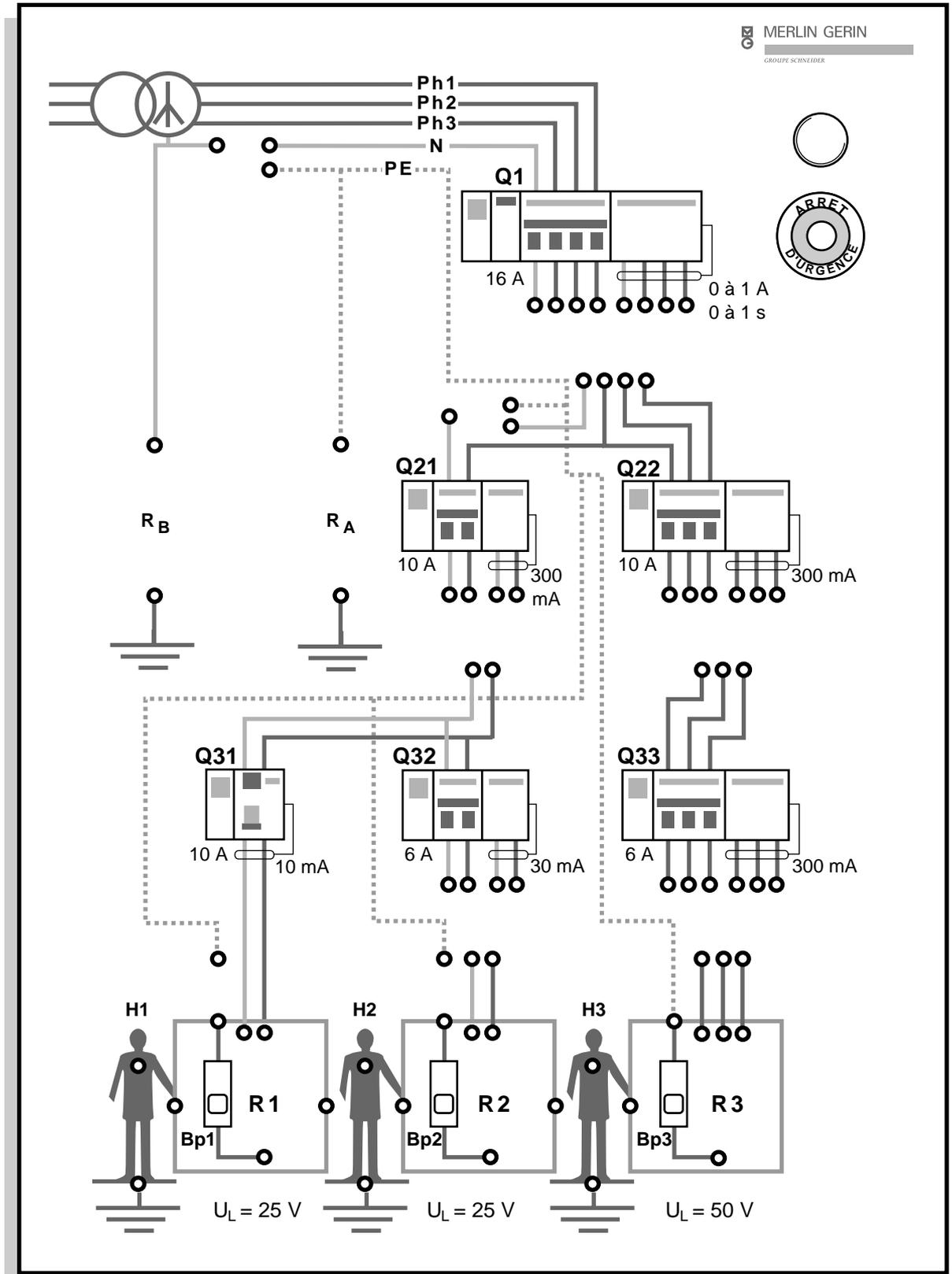
■ **Des résistances de puissance**, situées dans le socle du banc, sont accessibles par des bornes de sécurité : elles se connectent aux surfaces de travail par des câbles munis de douilles de sécurité, permettant ainsi la réalisation de manipulations sous le contrôle d'un enseignant habilité.

■ Dimensions (H x P x L) : 1350 x 700 x 700 mm

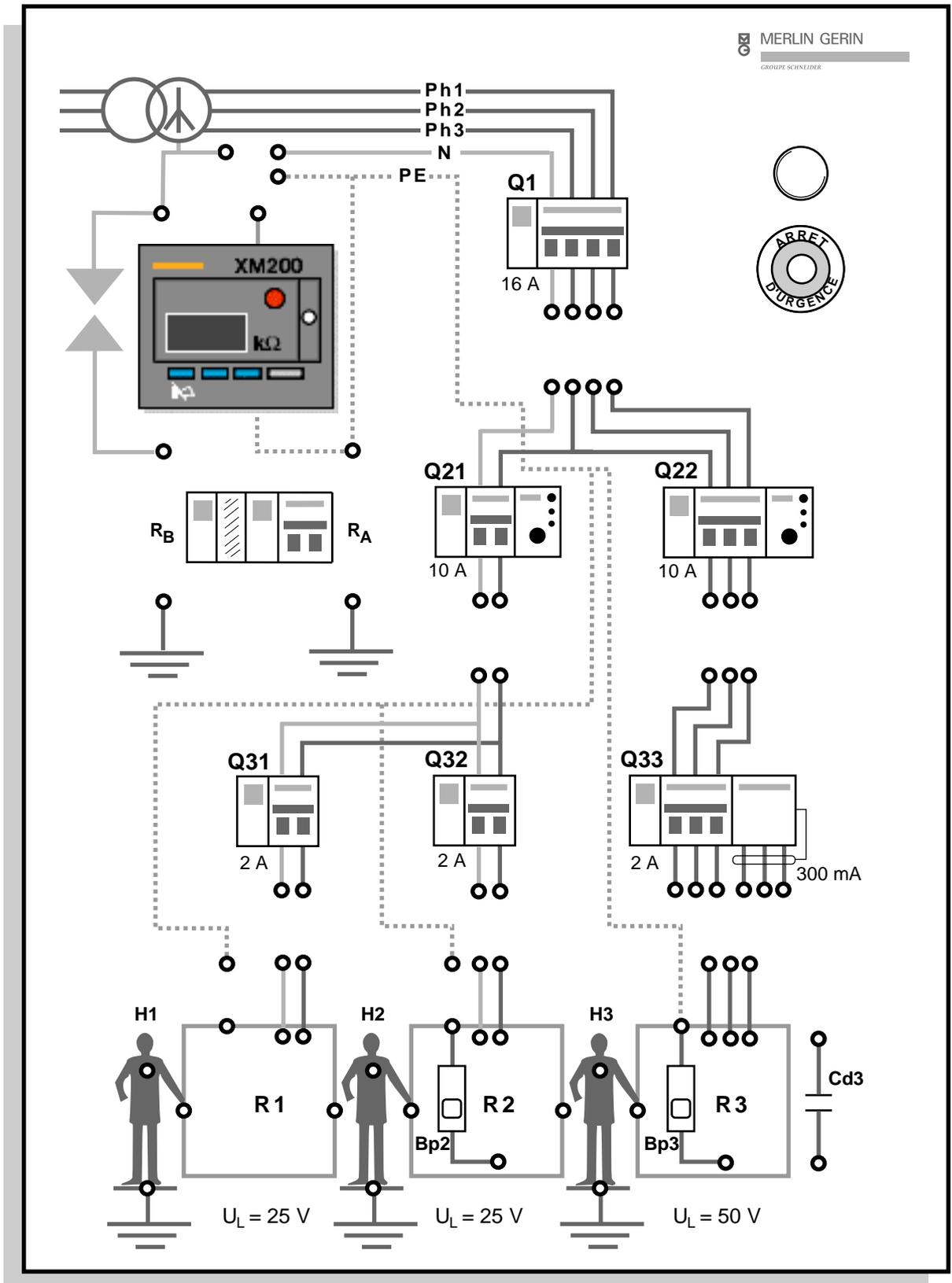
■ Poids : 175 kg

■ Alimentation électrique : 400 V~ - triphasé - 4 kVA
Prise de courant 3 P + T - 16 A

■ Surface de travail régimes TT - TN



■ Surface de travail régime IT



1.4 - Conditions d'utilisation

■ Alimentation :

Le banc est alimenté en 400 V~ ± 10% - triphasé - 4 kVA.
Branchement par prise de courant 3 P + T - 16 A, type P17.
Le courant de court-circuit conventionnel est fixé à 10 kA.
Tension assignée de tenue aux chocs : 2,5 kV.
Classe de protection : I

Le réseau électrique doit comporter, en amont du banc, un DDR de sensibilité 30 mA de classe AC.

■ Environnement :

Températures :

Utilisation : - 5 °C < T + 40 °C

Stockage : - 25 °C < T + 55 °C

Hygrométrie :

Utilisation : HR < 50 % pour T = + 40 °C

Stockage : HR < 90 % pour T = + 20 °C

Altitude : inférieure à 2000 m (6600 pieds)

Pollution :

Le banc est conçu pour être utilisé dans des conditions où il n'existe pas de pollution, seulement une pollution sèche non conductrice.

1.5 - Mise en service et mesures de sécurité

■ Mise en place :

- Dès réception** du banc, vérifier la référence des matériels à l'aide de la liste de groupage donnant le détail du colisage.
- Avant mise en place du banc, s'assurer que le sol a une solidité correcte ; poids de l'appareil : 175 kg.
- Pour faciliter son déplacement éventuel, le banc est équipé de quatre roulettes directionnelles, deux d'entre elles comportant un dispositif de blocage.

Pour la conduite des travaux pratiques, il est recommandé de bloquer ces deux roulettes.

- Pour une ventilation optimum, le banc est équipé d'une grille en partie supérieure, ainsi que d'ouvertures au niveau des carters de protection.

Il convient par conséquent de ne pas obstruer ni recouvrir ces aérations.



Veiller également à ne pas introduire d'objet – notamment métallique – par ces orifices : il y a risque de toucher des points de tension ou de créer des court-circuits très dangereux pour les personnes ou le matériel.

■ Raccordement :

- La mise en service du banc fait référence aux normes nationales d'installation NF C 15-100 - catégorie d'installation : II.
- La source d'alimentation à laquelle le banc est raccordé doit présenter les caractéristiques spécifiées au § 1.3 ci-avant.
- La fiche d'alimentation 3 P + T ne peut être branchée que dans une prise munie d'un conducteur de protection.



Il s'agit d'une mesure de protection : si la connexion n'est pas possible, ne tenter en aucun cas de forcer, et faire installer une nouvelle prise adaptée par un spécialiste.

- Rappel** : Le réseau électrique doit comporter en amont du banc un DDR de sensibilité 30 mA de classe AC.

■ Utilisation :

Lors des manipulations, les branchements électriques doivent être effectués en utilisant exclusivement les cordons fournis (degré de protection IP 2X).

Toutes les manipulations se feront sous la surveillance d'un enseignant, ou toute personne habilitée.

D'autres manipulations que celles proposées dans ce manuel peuvent être envisageables, mais seront alors conduites sous l'entière responsabilité de l'enseignant.



L'usage du banc à d'autres fins que celles prévues par l'Institut Schneider Formation est rigoureusement interdit.

■ Nettoyage

Pour nettoyer le banc, il est impératif de le déconnecter au préalable du réseau électrique.

Éviter toute projection d'eau ou d'autre liquide.

Ne pas utiliser d'éponge imbibée d'eau : utiliser un chiffon légèrement humide (pas de produit chimiquement corrosif).

■ Dépannage

Toute intervention de remplacement de composant nécessite au préalable la déconnexion du réseau électrique ; la remise sous tension n'aura lieu qu'après remise en place complète des fixations et connexions.

L'accès aux composants des surfaces de travail se fait par dépose des vis de fixation (clé 6 pans creux) ; remonter le panneau avec les **mêmes vis**.

Pour les références de composants, lire leur identification ou se reporter à la nomenclature générale.



F3 - F4 : fusibles 10 x 38 - 4 A - type am - 500 V~

Opérations à mener par un personnel compétent et habilité.

1.6 - Programme des travaux pratiques

■ Manipulations en Régime TT :

- 1 - L'interconnexion et la mise à la Terre des masses sont des conditions nécessaires mais non suffisantes pour assurer la protection.
- 2 - Les disjoncteurs magnéto-thermiques n'assurent pas la protection contre les contacts indirects.
- 3 - L'utilisation de DDR est une condition nécessaire mais non suffisante pour assurer la protection (choix du seuil).
- 4 - L'utilisation de DDR est une condition nécessaire mais non suffisante pour assurer la protection (valeur maximale de R_A).
- 5 - Déclenchement sélectif par des DDR placés à divers niveaux.
- 6 - Les valeurs de prises de Terre doivent être mesurées périodiquement.
- 7 - Risque d'incendie.
- 8 - Récepteurs mobiles.

■ Régime TN :

- 1 - Un défaut à la masse entraîne une surintensité qui est éliminée par les disjoncteurs classiques.
- 2 - Un disjoncteur donné permet-il d'assurer la protection dans tous les cas ?
- 3 - Que faire si les conditions de protection ne sont pas remplies ?

■ Régime IT :

- 1 - L'interconnexion et la mise à la Terre des masses sont des conditions nécessaires et suffisantes pour la protection en cas de premier défaut.
- 2 - Contrôle permanent de l'isolement du réseau par rapport à la Terre et signalisation d'un premier défaut.
- 3 - Défaut simple : recherche du départ en défaut par ouvertures successives des divers disjoncteurs.
- 4 - Défaut simple : recherche du départ en défaut par injection de courant alternatif à très basse fréquence.
- 5 - Défaut simple : recherche du départ en défaut par injection de courant alternatif à très basse fréquence et détecteurs fixes.
- 6 - Défaut double : défaut franc sur R2 (phase 3) - défaut franc sur R3 (phase 1) : nécessité de prévoir des DDR sur les départs longs.
- 7 - Défaut double : défaut franc sur R2 (phase 3) - défaut franc sur R3 (phase 1) : les déclencheurs magnétiques suffisent à la protection.
- 8 - Défaut simple : prise en compte des transitions provoquant un défaut fugitif.

Schémas de liaison à la terre

2

Chapitre

Travaux pratiques

Sommaire	Page
Remarques préliminaires	28
2.1 Le régime TT	29
2.1.1 Interconnexion et mise à la Terre des masses	30
2.1.2 Disjoncteurs magnéto-thermiques	32
2.1.3 Utilisation de DDR - Seuil $I_{\Delta n}$	34
2.1.4 Utilisation de DDR - Valeur maximale de R_A	36
2.1.5 Déclenchement par DDR	38
2.1.6 Valeurs des prises de Terre	40
2.1.7 Risque d'incendie	42
2.1.8 Récepteurs mobiles	44
2.2 Le régime TN	47
2.2.1 Défaut franc	48
2.2.2 Défaut franc sur départ long	50
2.2.3 Conditions optimales de protection	52
2.3 Le régime IT	55
2.3.1 Protection au premier défaut	56
2.3.2 Signalisation du premier défaut	58
2.3.3 Défaut simple : recherche par ouvertures	60
2.3.4 Défaut simple : recherche par injection de courant	62
2.3.5 Défaut simple : recherche par détecteurs fixes	64
2.3.6 Défaut double : protection par DDR	66
2.3.7 Défaut double : protection par déclencheur magnétique	68
2.3.8 Défaut fugitif	70

Remarques préliminaires

■ **Le banc sert de support à des travaux pratiques** sur les différents régimes du neutre en BTA.

■ **Les travaux pratiques décrits dans ce manuel** constituent un canevas de manipulations possibles, mais n'ont pas de caractère exhaustif. Les professeurs pourront soit faire réaliser ces manipulations par leurs élèves telles que décrites, soit les compléter par d'autres manipulations à leur convenance, par exemple, en mettant en place des récepteurs appropriés pour être au plus près des réalités industrielles.

(Par souci de simplifications, les fiches de travaux pratiques ci-après ne prévoient pas de brancher des récepteurs pour charger normalement les départs)

■ **Pour des raisons de progression pédagogique**, il est recommandé d'effectuer les manipulations dans l'ordre proposé, c'est à dire :

1. Régime TT
2. Régime TN
3. Régime IT.

Les conclusions générales sur les avantages et inconvénients de chaque régime du neutre seront tirées par les élèves eux-mêmes après qu'ils aient effectué toutes les manipulations.

■ Les conventions internationales adoptent les repères :

- R_A : prise de Terre des masses d'utilisation des récepteurs
- R_B : prise de Terre du neutre

■ **Pour développer ces sujets**, vous pouvez consulter en annexe les "Cahiers techniques" suivants :

- CT n°172 - Les Schémas de Liaison à la Terre en BT
- CT n°173 - Les Schémas de Liaison à la Terre dans le monde en évolution
- CT n°177 - Perturbations des systèmes électroniques et SLT

2.1 Le régime TT

■ **Le neutre du transformateur** est relié directement à une prise de Terre R_B . (première lettre T)

■ **Les masses d'utilisation** des récepteurs sont reliées directement à une prise de Terre R_A . (deuxième lettre T)

■ **Le conducteur PE** ne doit jamais être coupé.

■ **Dans tous les locaux** la tension de contact U_c doit rester $\leq U_L$:

$$\text{soit} \quad R_A \cdot I_f \leq U_L$$

$$\text{ou} \quad R_A \cdot I_{\Delta n} \leq U_L$$

R_A = Résistance de la prise de Terre des masses d'utilisation des récepteurs.

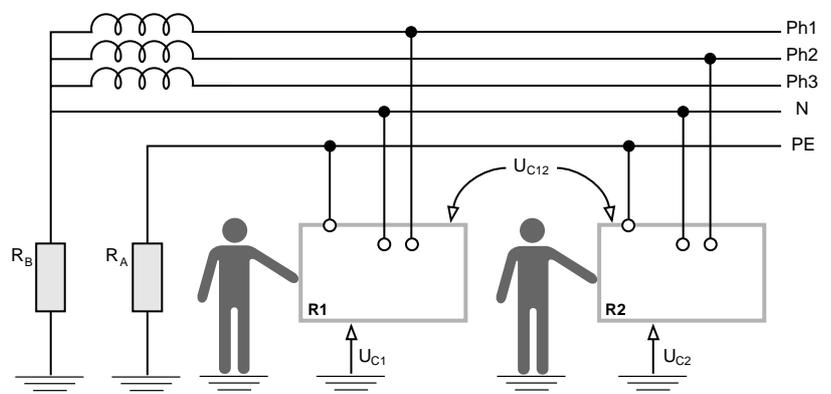
I_f = Courant de fuite assurant le fonctionnement du dispositif de protection dans le temps prescrit par la courbe de sécurité.

$I_{\Delta n}$ = Seuil nominal du dispositif DDR

U_L = Tension limite conventionnelle de sécurité pour le local considéré (valeur limite maximale de la tension de contact pouvant être maintenue indéfiniment en dessous du seuil de tension dangereuse).

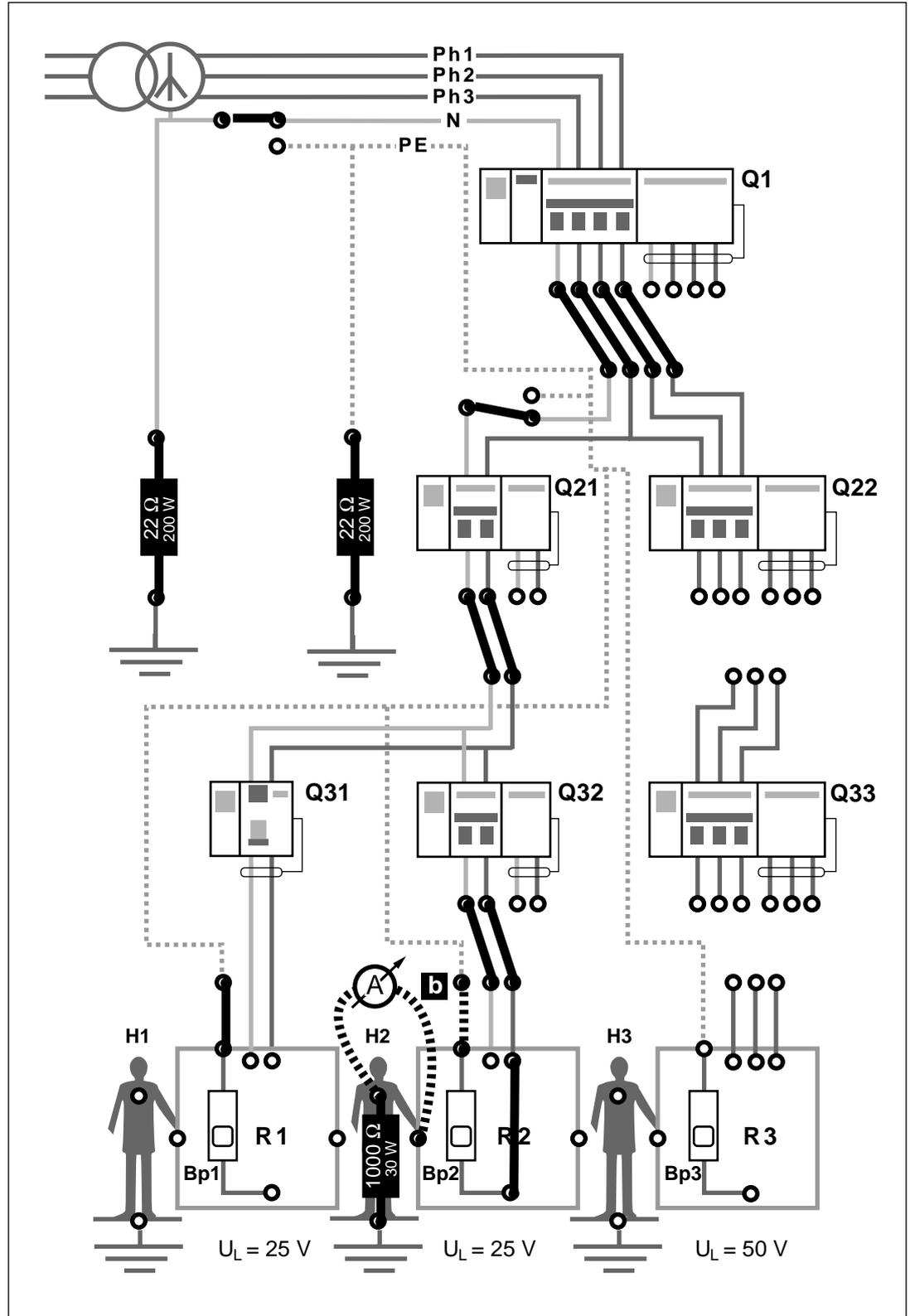
Nota : si les prises de Terre R_A et R_B sont reliées on est ramené au régime « mise au neutre TNS » (voir § 2.2 - Le régime TN).

Schéma simplifié :



2.1.1
Régime TT
Manipulation 1

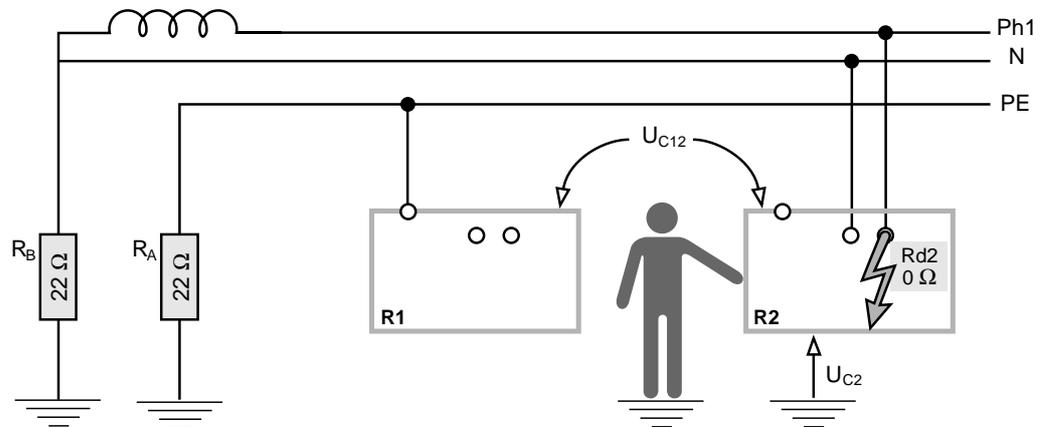
L'interconnexion et la mise à la Terre des masses sont des conditions nécessaires mais non suffisantes pour assurer la protection.



Régime TT
 planche 1

TT - 1

- a**
- 1 - Ouvrir tous les organes de coupure (Q1 à Q33).
 - 2 - Réaliser le montage correspondant à la planche 1. Schéma équivalent :



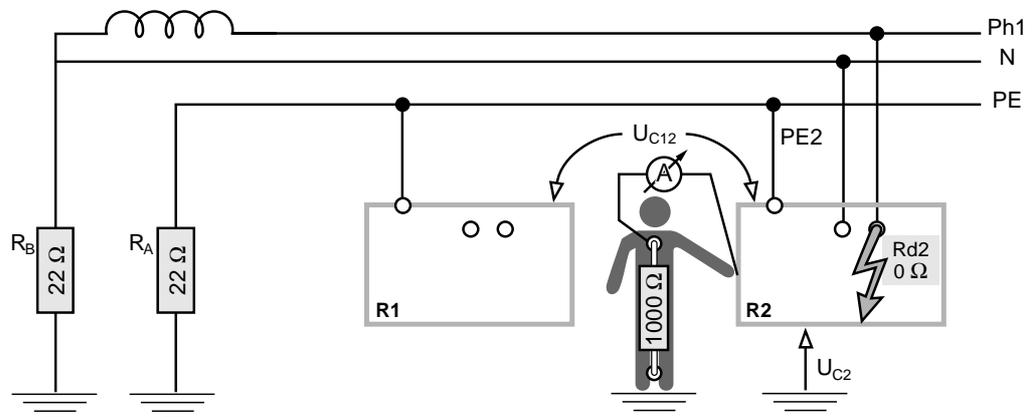
- 3 - Mettre sous tension en fermant Q1, Q21 et Q32.
- 4 - Créer un défaut franc dans le récepteur R2 en appuyant sur le bouton poussoir Bp2.
- 5 - Mesurer la tension entre les masses des récepteurs R1 et R2 :

$$U_{C12} = 130 \text{ V} : \quad \text{DANGER}$$

- 6 - Mesurer la tension entre la masse R2 et la Terre :

$$U_{C2} = 130 \text{ V} : \quad \text{DANGER} \text{ puisque } U_{C2} > U_L \text{ (du local 2)}$$

- b**
- 7 - Etablir la liaison directe PE2 (Les masses des récepteurs R1 et R2 se trouvent interconnectées et reliées à la Terre). Schéma équivalent :



- 8 - Créer un défaut franc dans le récepteur R2 en fermant Bp2.
- 9 - Mesurer la tension entre les masses des récepteurs R1 et R2 :

$$U_{C12} = 0 \text{ V} : \quad \text{pas de danger}$$

- 10 - Mesurer la tension entre la masse du récepteur R2 et la Terre :

$$U_{C2} = 66,5 \text{ V} : \quad \text{DANGER} \text{ puisque } U_{C2} > U_L \text{ (du local 2)}$$

- 11 - Brancher une résistance de 1000 Ohms entre le corps et les pieds de l'opérateur H2, puis avec un ampèremètre entre son corps et sa main, mesurer le courant qui le traverse.

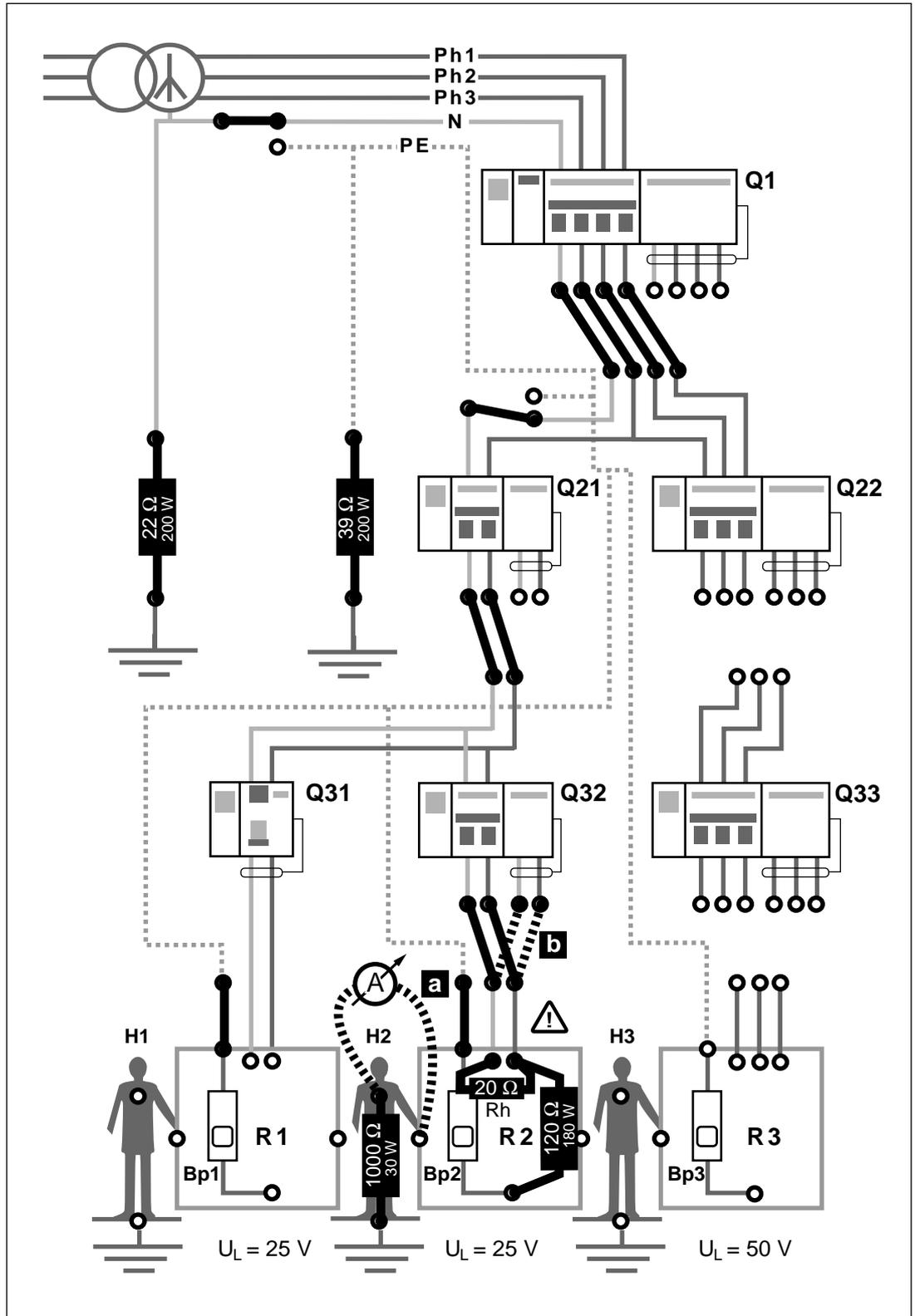
Conclusion

L'interconnexion des masses et leur mise à la Terre ne sont pas des conditions suffisantes pour assurer la protection.

2.1.2
Régime TT
Manipulation 2

Les disjoncteurs magnéto-thermiques n'assurent pas la protection contre les contacts indirects

⚠ Avertissement : utiliser impérativement un rhéostat

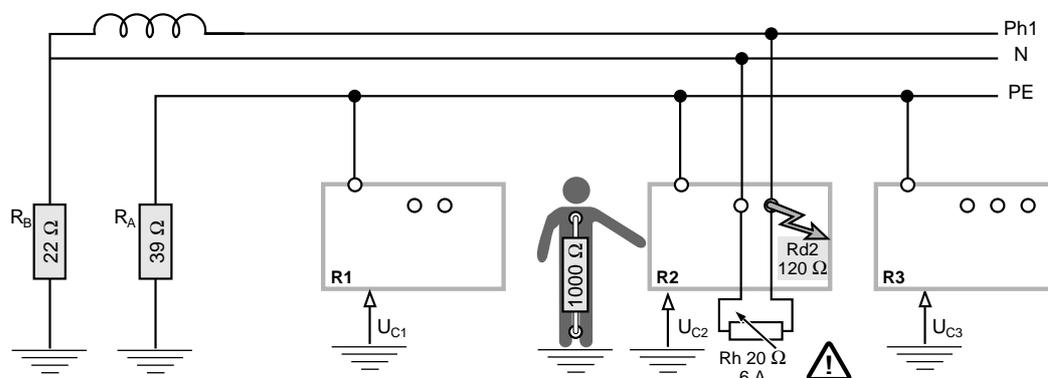


Régime TT
 planche 2

TT - 2

a

- 1 - Ouvrir tous les organes de coupure (Q1 à Q33).
- 2 - Réaliser le montage correspondant à la planche 2 (pour la charge de 20 Ω du départ n°2, utiliser le rhéostat). Schéma équivalent :



⚠ utiliser un rhéostat

- 3 - Mettre sous tension en fermant Q1, Q21 et Q32.
- 4 - Créer un défaut ($R_{d2} = 120 \Omega$) dans le récepteur R2 en appuyant sur Bp2.
- 5 - Calculer le courant de défaut théorique I_d et déterminer U_{C1} et U_{C2} .
- 6 - Mesurer les tensions entre les masses des récepteurs et la Terre.

$$U_{C3} = 28 \text{ V} < U_L = 50 \text{ V} \quad \text{: pas de danger}$$

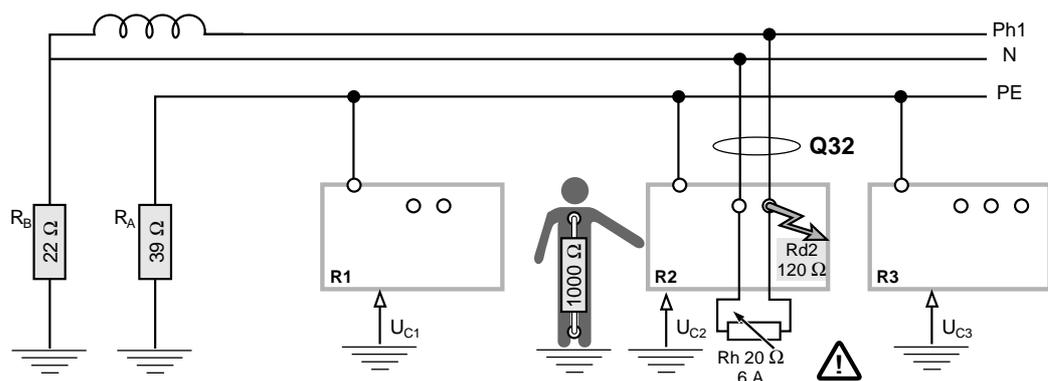
$$U_{C1} = U_{C2} = 28 \text{ V} > U_L = 25 \text{ V} \quad \text{: DANGER, pas de déclenchement des disjoncteurs}$$

Remarques :

- Malgré que le circuit ait été chargé aux limites de Q32 ($I_n \approx 6,8 \text{ A}$) nous constatons que le défaut à la masse ne provoque pas de déclenchement du magnéto-thermique Q32.
 - Le disjoncteur Q31 est ouvert, mais on relève toujours entre la masse du récepteur R1 et la Terre une tension excessive ($U_{C1} = 28 \text{ V} > U_L = 25 \text{ V}$) ! Cette tension, dangereuse dans le local mouillé où se trouve R1, est renvoyée par l'interconnexion des masses.
- 7 - Mesurer le courant qui traverse H2.

b

- 8 - Couper Q32 et passer par le DDR Q32. Schéma équivalent :



⚠ utiliser un rhéostat

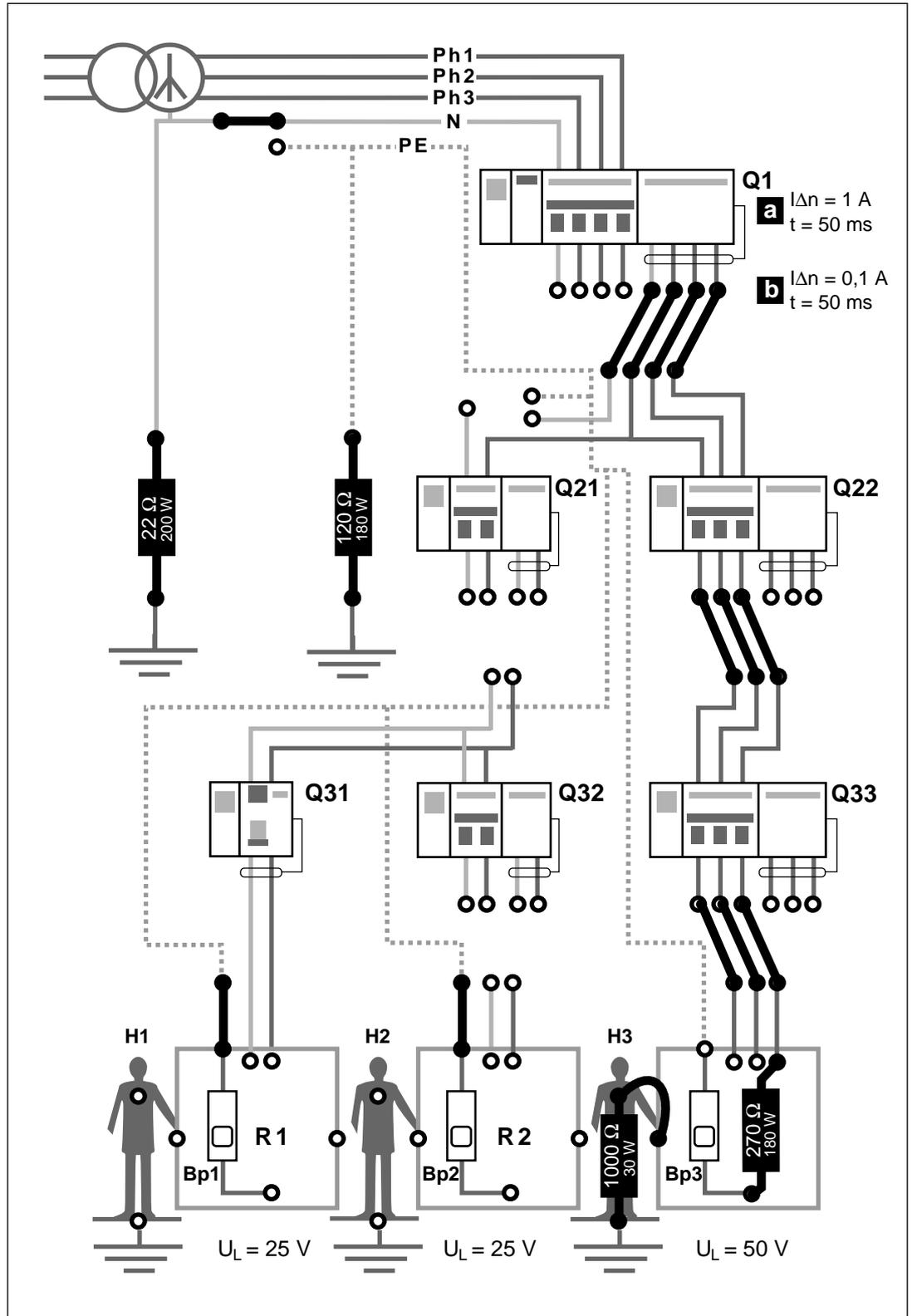
- 9 - Mettre sous tension en refermant Q32.
- 10 - Créer le défaut ($R_{d2} = 120 \Omega$) dans le récepteur R2 en appuyant sur Bp2 :
Déclenchement immédiat de Q32 : **plus de danger** au niveau de la tension renvoyée sur la masse des récepteurs.

Conclusion

Une protection par DDR est nécessaire pour assurer la sécurité.

2.1.3
Régime TT
Manipulation 3

L'utilisation de DDR est une condition nécessaire mais non suffisante pour assurer la protection - Choix du seuil $I\Delta n$

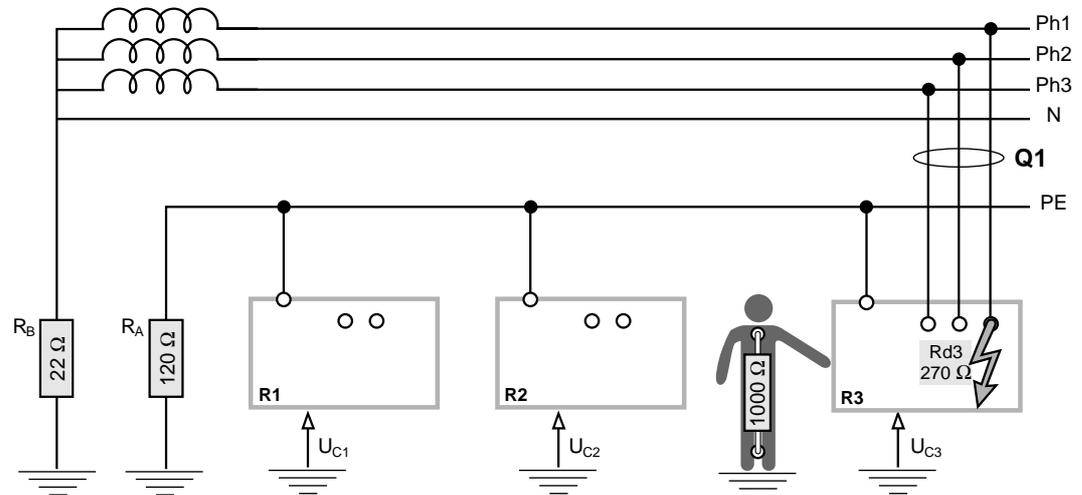


Régime TT
 planche 3

TT - 3

a

- 1 - Ouvrir tous les organes de coupure (Q1 à Q33).
- 2 - Réaliser le montage correspondant à la planche 3. Schéma équivalent :



- 3 - Ajuster les seuils du différentiel de Q1 à :

$$I\Delta n = 1A \quad \text{et} \quad t = 50 \text{ ms}$$

- 4 - Mettre sous tension en fermant Q1, Q22 et Q33.
- 5 - Créer un défaut dans le récepteur R3 en appuyant sur Bp3.
- 6 - Mesurer les tensions entre les masses des récepteurs et la Terre :
 - $U_{C3} = 40 \text{ V} < U_L \text{ du local}_3 = 50 \text{ V}$: **pas de danger**
 - $U_{C2} = 40 \text{ V} > U_L \text{ du local}_2 = 25 \text{ V}$: **DANGER**
 - $U_{C1} = 40 \text{ V} > U_L \text{ du local}_1 = 25 \text{ V}$: **DANGER**

- 7 - Calculer le courant de défaut I_d , et vérifier les valeurs de U_C mesurées ; puis mesurer ce courant en introduisant un ampèremètre dans le circuit.

b

- 8 - Ouvrir Q1.
- 9 - Régler le différentiel de Q1 à :

$$\frac{U_{L\text{mini}}}{R_A} \leq \frac{25}{120}, \text{ soit : } I\Delta n \leq 0,2A \text{ et } t = 50 \text{ ms.} \quad \text{On fixera } I\Delta n = 0,1 A$$

- 10 - Fermer Q1.
- 11 - Créer le défaut en appuyant sur Bp3 :

Il y a déclenchement de Q1 ; **la protection est donc assurée** dans tous les locaux.

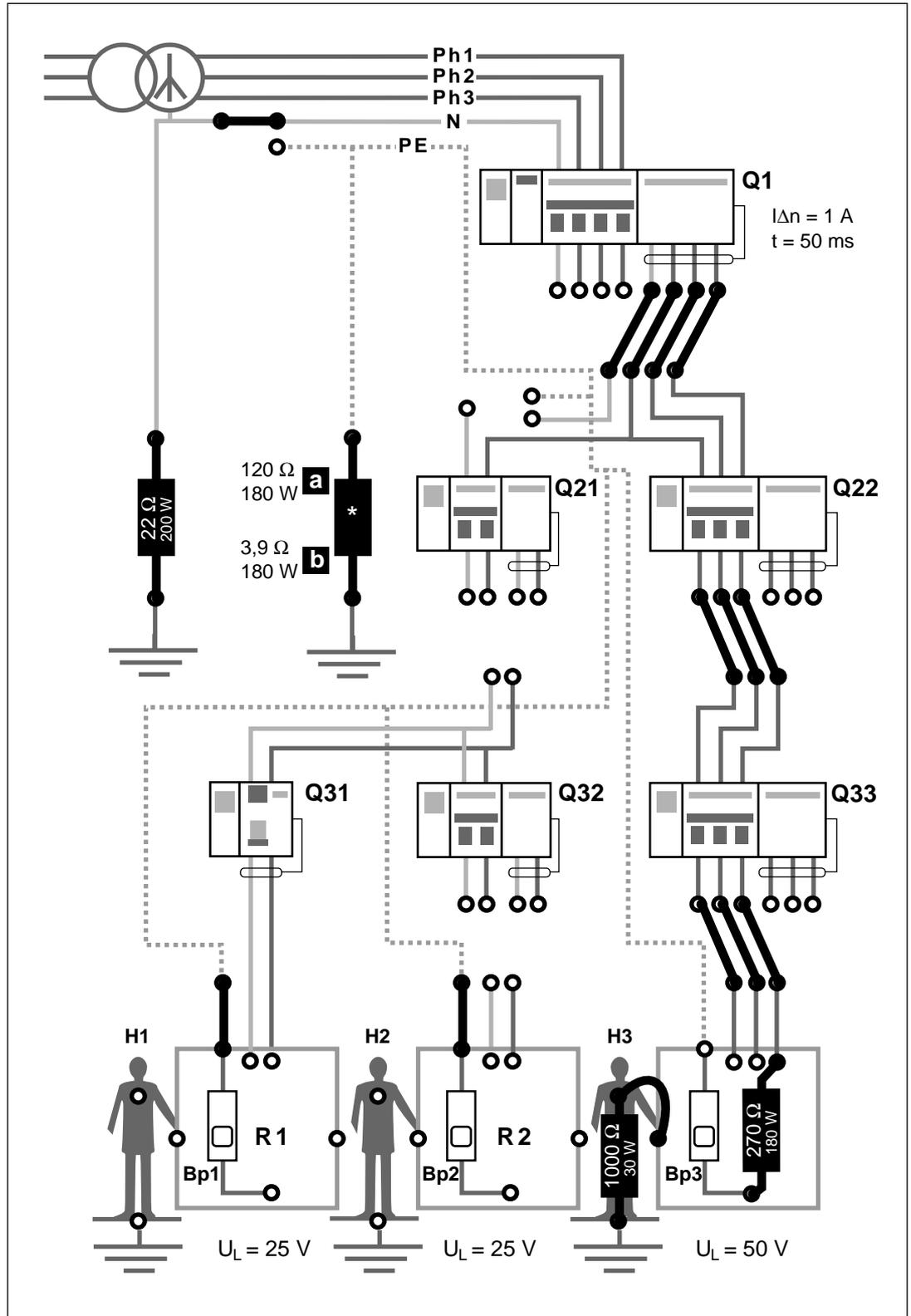
Conclusion

Pour une valeur de R_A donnée (elle ne peut être choisie mais éventuellement améliorée), on doit avoir dans une installation :

$$I\Delta n \text{ le plus grand} \leq \frac{U_L \text{ minimum des locaux de l'installation}}{R_A}$$

2.1.4
Régime TT
Manipulation 4

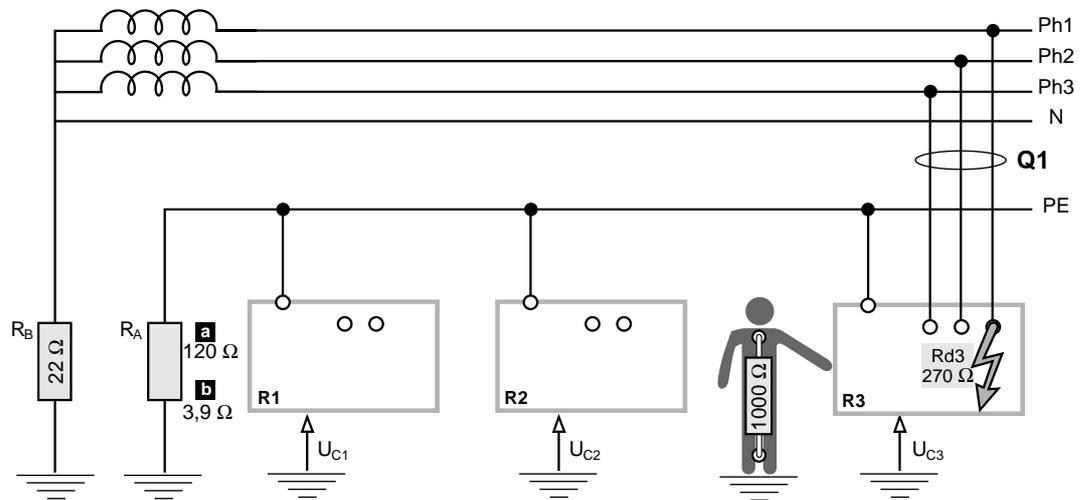
L'utilisation de DDR est une condition nécessaire mais non suffisante pour assurer la protection - Valeur maximale de R_A



Régime TT
 planche 4

TT - 4

- a**
- 1 - Ouvrir tous les organes de coupure (Q1 à Q33).
 - 2 - Réaliser le montage correspondant à la planche 4. Schéma équivalent :



- 3 - Ajuster les seuils du différentiel de Q1 à :

$$I\Delta n = 1\text{ A} \quad \text{et} \quad t = 50\text{ ms}$$
- 4 - Mettre sous tension en fermant Q1, Q22 et Q33.
- 5 - Créer un défaut dans le récepteur R3 en appuyant sur Bp3
- 6 - Mesurer les tensions entre les masses des récepteurs et la Terre :
 - $U_{C3} = 40\text{ V} < U_L$ du local 3 = 50V : **pas de danger**
 - $U_{C2} = 40\text{ V} > U_L$ du local 2 = 25V : **DANGER**
 - $U_{C1} = 40\text{ V} > U_L$ du local 1 = 25V : **DANGER**

Vérifier ces mesures par calcul du courant de défaut I_d .

- b**
- 7 - Ouvrir Q1.
 - 8 - Remplacer $R_A = 120\Omega$ par $R_A = 3,9\Omega$ (200W).
 - 9 - Fermer Q1.
 - 10 - Créer le défaut en appuyant sur Bp3.
 - 11 - Mesurer les tensions entre les masses des récepteurs et la Terre :

$$\bullet U_{C1} = U_{C2} = U_{C3} = 1,8\text{ V} \quad \text{pas de danger}$$

Vérifier ces mesures par calcul du courant de défaut I_d .

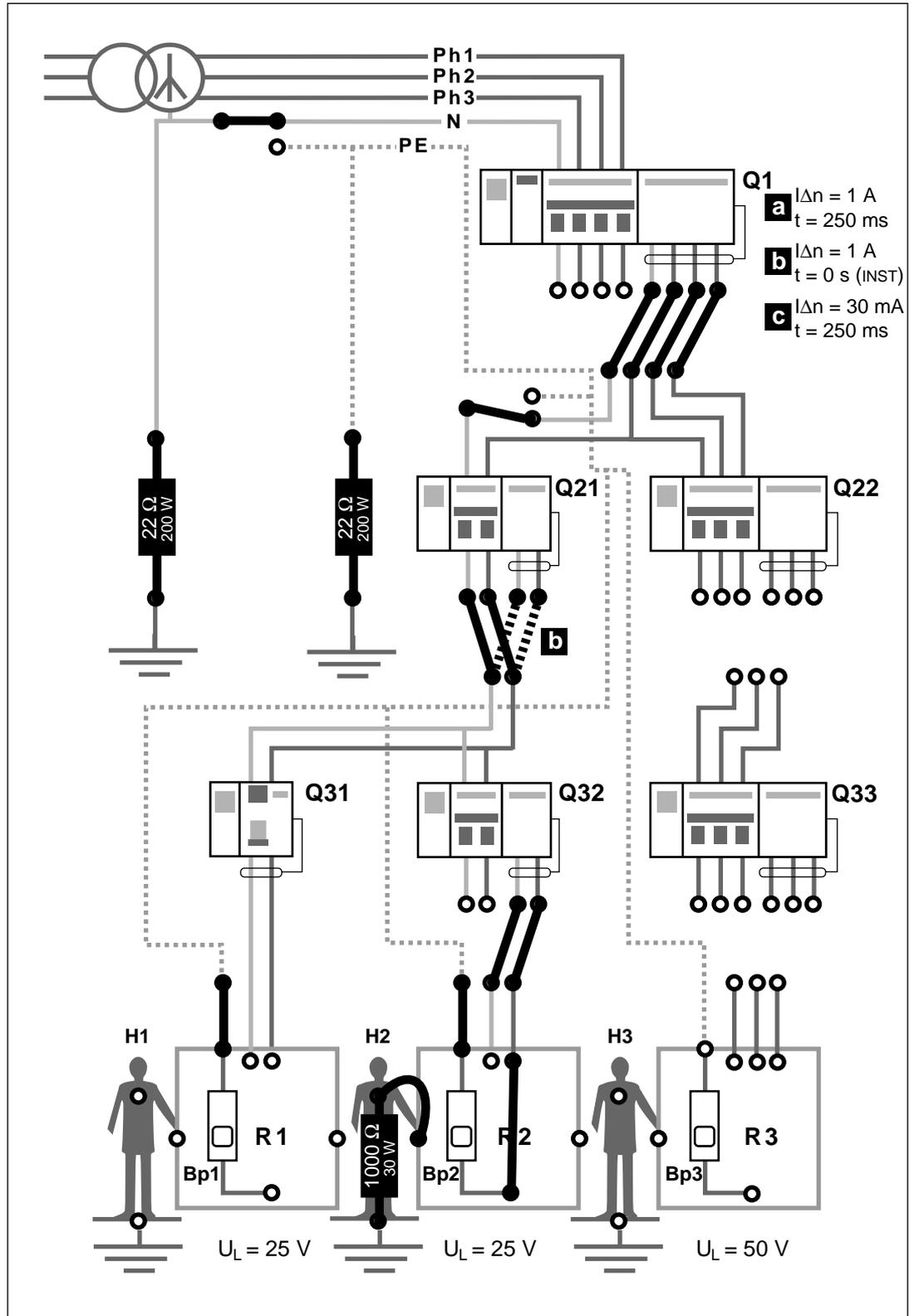
Conclusion

Pour une valeur de $I\Delta n$ choisie, la protection est efficace à condition que la prise de Terre des masses d'utilisation (R_A) ait une valeur :

$$R_A \leq \frac{U_L \text{ minimum des locaux de l'installation}}{I\Delta n}$$

2.1.5
Régime TT
Manipulation 5

Déclenchement par des DDR placés à divers niveaux

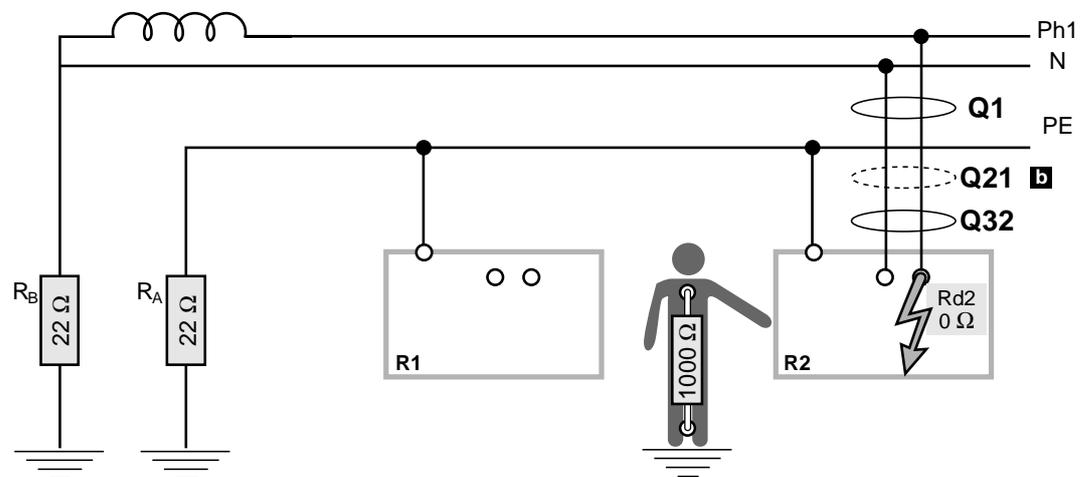


Régime TT
 planche 5

TT - 5

a

- 1 - Ouvrir tous les organes de coupure (Q1 à Q33).
- 2 - Réaliser le montage correspondant à la planche 5. Schéma équivalent :



- 3 - Ajuster les seuils du différentiel de Q1 à :
 $I_{\Delta n} = 1\text{ A}$ et $t = 250\text{ ms}$
- 4 - Mettre sous tension en fermant Q1, Q21, Q32.
- 5 - Créer un défaut franc dans le récepteur R2 en fermant Bp2.
 - le disjoncteur différentiel Q32 s'ouvre.

Il y a sélectivité entre le DDR Q32 (instantané) et le DDR Q1 (temporisé à 250 ms).
On obtient ainsi une **protection sélective**.

b

- 6 - Câbler le DDR de Q21, et régler le temps de déclenchement de Q1 à 0 (position INST).
- 7 - Créer un défaut franc dans le récepteur R2 en fermant Bp2 :
 - un des disjoncteurs Q32, Q21 ou Q1 s'ouvre, au hasard des dispersions des courbes de disjonction de chaque appareil.

Il n'y a pas de sélectivité entre les DDR Q32, Q21 et Q1, tous instantanés.

c

- 8 - Réaliser le montage de la partie **a**.
- 9 - Ajuster les seuils de Q1 à :
 $I_{\Delta n} = 30\text{ mA}$ et $t = 250\text{ ms}$
- 10 - Créer un défaut franc dans le récepteur R2 en fermant Bp2 :
 - Q32 s'ouvre avant Q1

Le déclenchement temporisé de Q1 permet la sélectivité entre Q32 et Q1

Conclusion

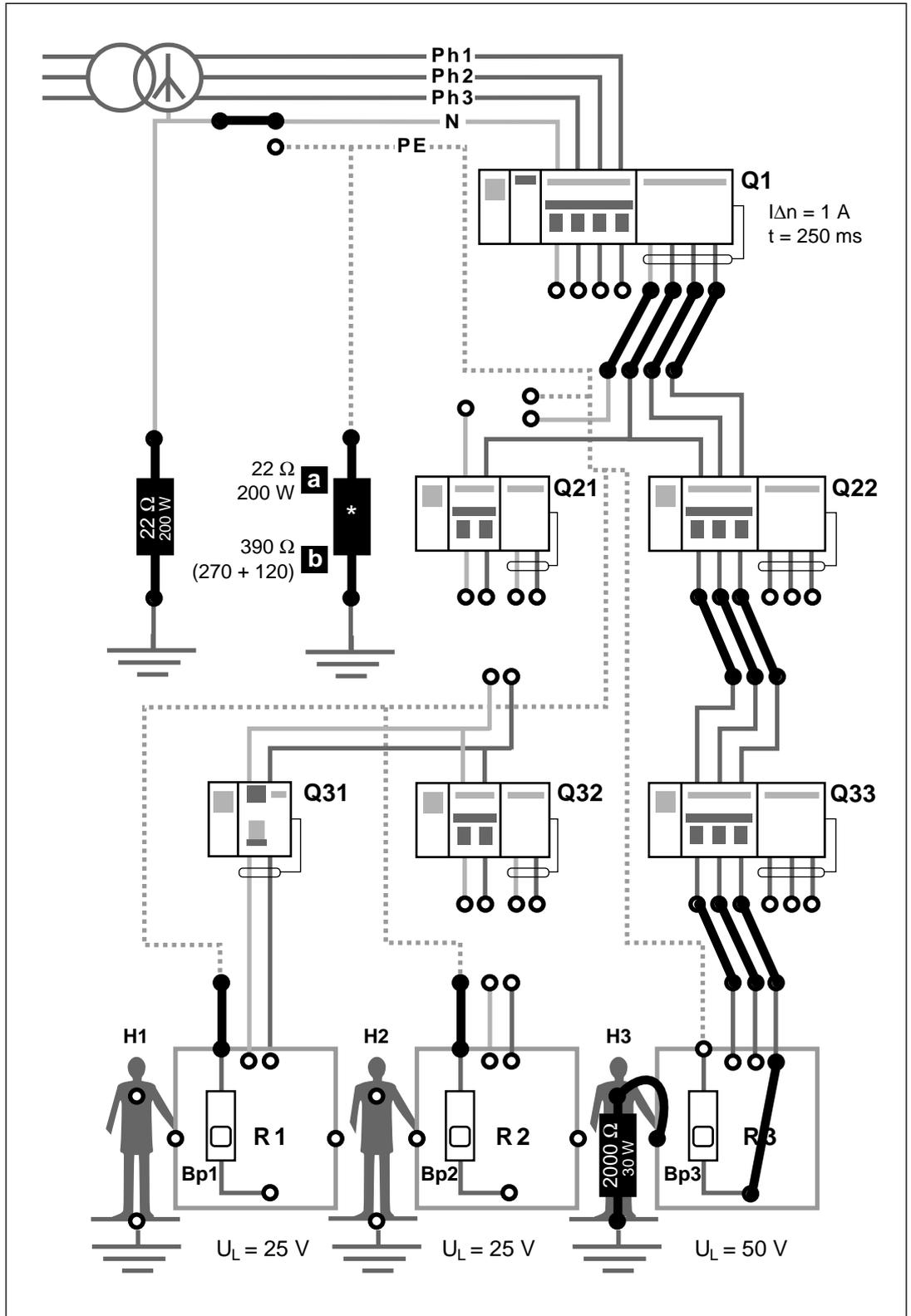
Un DDR temporisé doit toujours être associé à un DDR instantané en aval.

Remarque :

- Autre manipulation possible :** Installation ne présentant pas de sélectivité différentielle.
- Câbler les DDR Q1, Q22 et Q33, avec pour seuils de Q1 : $I_{\Delta n} = 300\text{ mA}$ et $t = 100\text{ ms}$.
 - Créer un défaut franc sur le récepteur R3 :
 - Q22 et Q33 déclenchent dans un ordre aléatoire.
- On peut aussi supprimer la temporisation de Q1 en respectant le réglage $I_{\Delta n}$ à 300 mA.

2.1.6
Régime TT
Manipulation 6

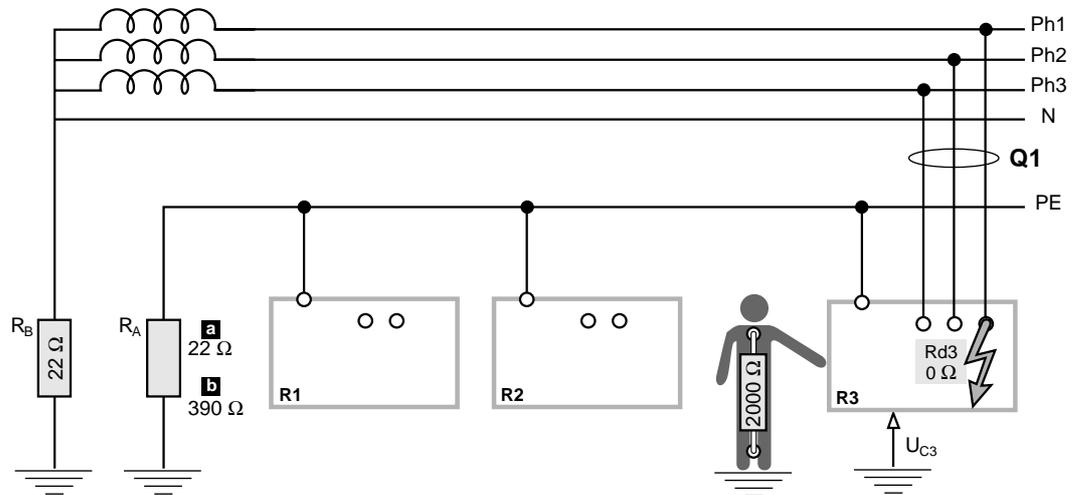
Les valeurs de prise de Terre doivent être mesurées périodiquement



Régime TT
planche 6

TT - 6

- a**
- 1 - Ouvrir tous les organes de coupure (Q1 à Q33).
 - 2 - Réaliser le montage correspondant à la planche 6. Schéma équivalent :



- 3 - Ajuster les seuils du différentiel de Q1 à :
 $I_{\Delta n} = 1\text{ A}$ et $t = 250\text{ ms}$
- 4 - Mettre sous tension en fermant Q1 (réarmer le DDR si nécessaire), Q22, Q33.
- 5 - Créer un défaut franc dans le récepteur R3 en fermant Bp3
 - le disjoncteur différentiel Q1 s'ouvre : **pas de danger**
 - calculer le courant de défaut I_d et interpréter le résultat.

- b**
- 6 - Ouvrir tous les organes de coupure (Q1 à Q33).
 - 7 - Remplacer $R_A = 22\ \Omega$ par $R_A = 390\ \Omega$.
 (en associant en série des résistances de $270\ \Omega$ et $120\ \Omega$)
 - 8 - Mettre sous tension en fermant Q1, Q22, Q33.
 - 9 - Créer un défaut franc dans le récepteur R3 en fermant Bp3 :
 - le disjoncteur différentiel Q1 reste fermé. Pourquoi ?
 - calculer I_d dans ce cas.
 - 10 - Mesurer la valeur du courant de défaut en branchant un ampèremètre à l'endroit du défaut franc sur R3 : $I_d = 320\text{ mA}$.
 Le seuil de déclenchement de Q1 étant réglé à $I_{\Delta n} = 1\text{ A}$, on voit que $I_d < I_{\Delta n}$:
il est donc normal que Q1 n'ait pas déclenché.
 - 11 - Mesurer la tension entre la masse du récepteur R3 et la Terre :
 - $U_{C3} = 125\text{ V}$: **DANGER**

Il convient de contrôler périodiquement la valeur de la prise de Terre des masses d'utilisation.

Conclusion

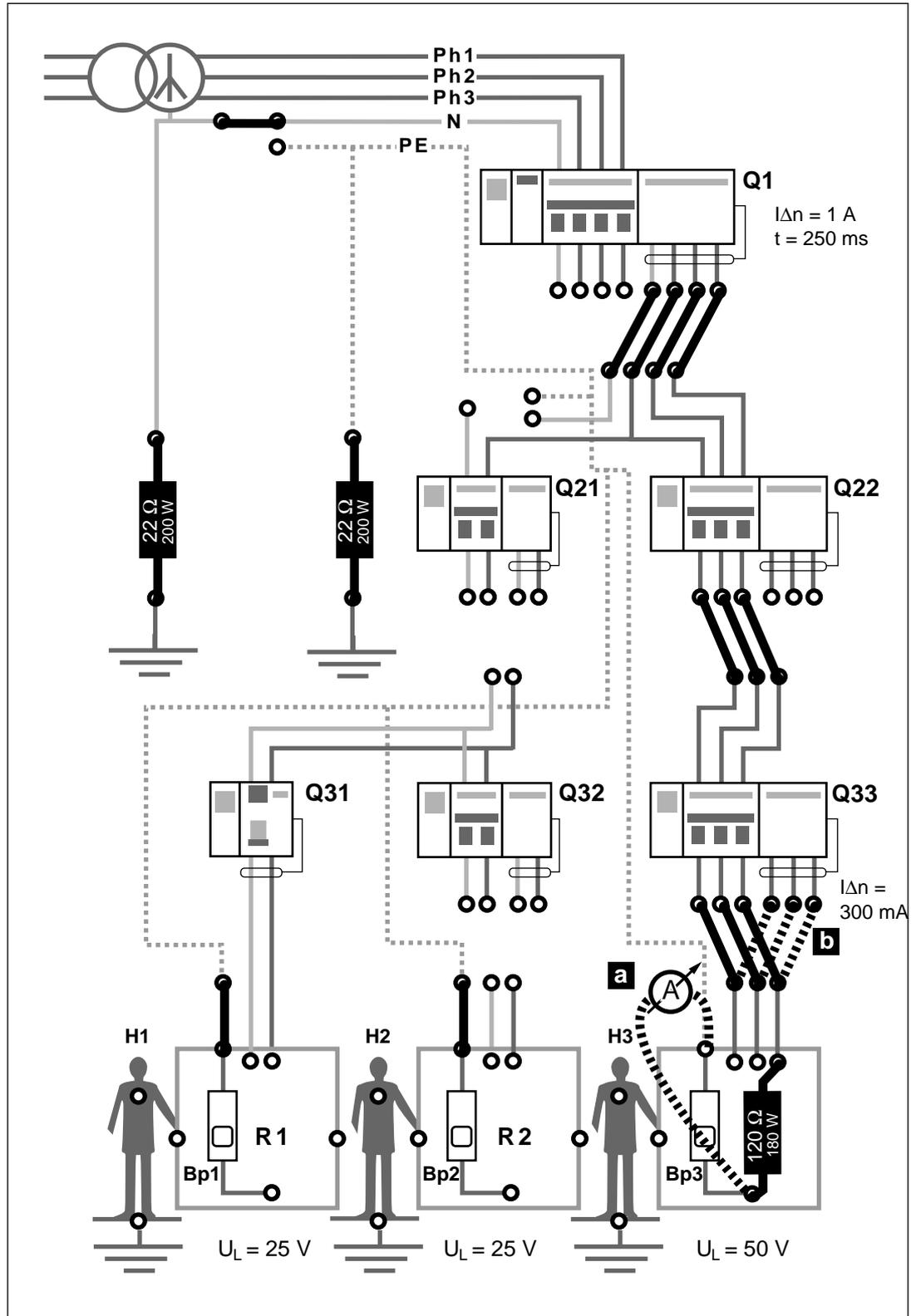
Dans notre exemple U_{C3} reste $< U_L = 50\text{ V}$ si : $R_A \leq \frac{U_L}{\text{Seuil DDR en Q1}}$.

La protection n'est donc assurée par le DDR Q1 de seuil $I_{\Delta n} = 1\text{ A}$ que dans la mesure où :

$$R_A < \frac{50}{1} = 50\ \Omega$$

2.1.7
Régime TT
Manipulation 7

Risque d'incendie

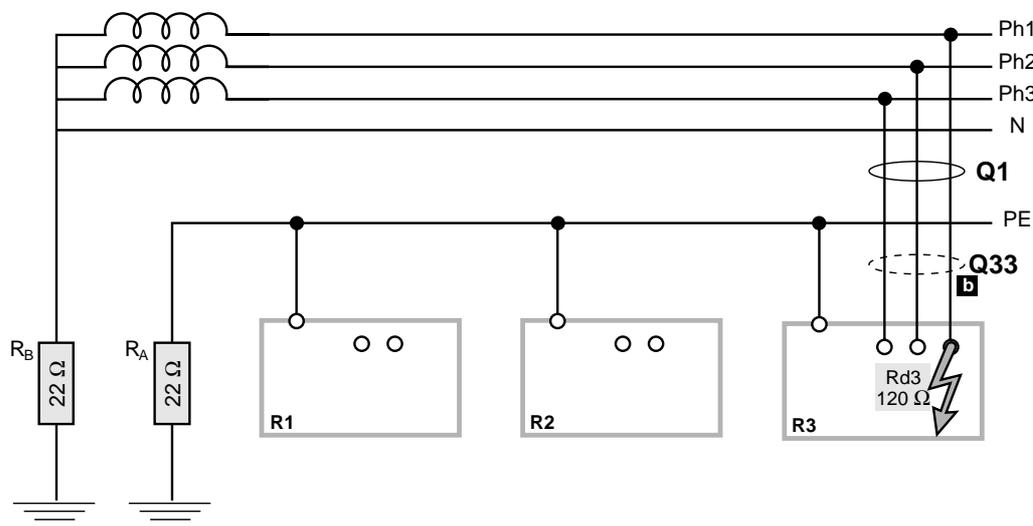


Régime TT
planche 7

TT - 7

a

- 1 - Ouvrir tous les organes de coupure (Q1 à Q33).
- 2 - Réaliser le montage correspondant à la planche 7. Schéma équivalent :



- 3 - Ajuster les seuils du différentiel de Q1 à :

$$I_{\Delta n} = 1 \text{ A} \quad \text{et} \quad t = 250 \text{ ms}$$
- 4 - Mettre sous tension en fermant Q1, Q22 et Q33.
- 5 - Créer un défaut de 120Ω dans le récepteur R3 en appuyant sur Bp3 :
 - le disjoncteur Q33 ne s'ouvre pas ;
 - calculer le courant de défaut I_d .
- 6 - Placer un ampèremètre aux bornes de Bp3 et mesurer le courant de fuite à la Terre :
 - $I_d = 830 \text{ mA}$: **DANGER D'INCENDIE** puisque $I_d > 500 \text{ mA}$
(500 mA = courant limite pouvant provoquer l'incandescence du point de contact de deux pièces conductrices)

b

- 7 - Débrancher l'ampèremètre.
- 8 - Ouvrir Q33.
- 9 - Brancher R3 sur le DDR de Q33, sensibilité sur $I_{\Delta n} = 300 \text{ mA}$.
- 10 - Fermer Q33
- 11 - Créer le défaut de 120Ω dans le récepteur R3 en fermant Bp3 :
 - le disjoncteur différentiel Q33 s'ouvre.

Conclusion

Les récepteurs placés dans les locaux présentant des risques d'incendie devront être protégés par des DDR de seuil $I_{\Delta n} \leq 300 \text{ mA}$ (article 482.2.10 de la norme NF C 15-100).

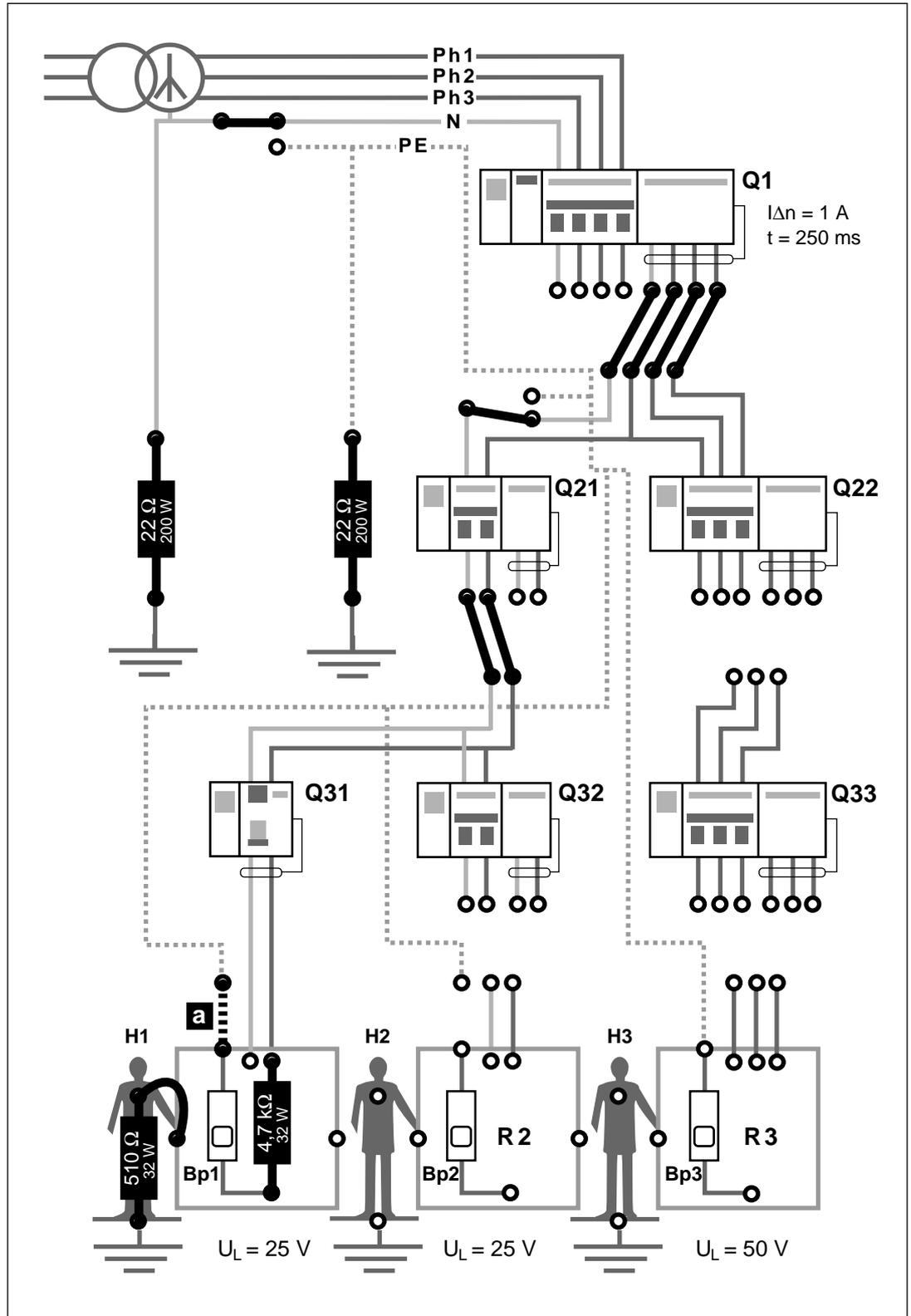
Remarque :

Autre manipulation possible : Mesurer les tensions de contact U_{C1} , U_{C2} et U_{C3} .

- $U_c = 18 \text{ V}$: pas de danger pour les opérateurs

2.1.8
Régime TT
Manipulation 8

Récepteurs mobiles

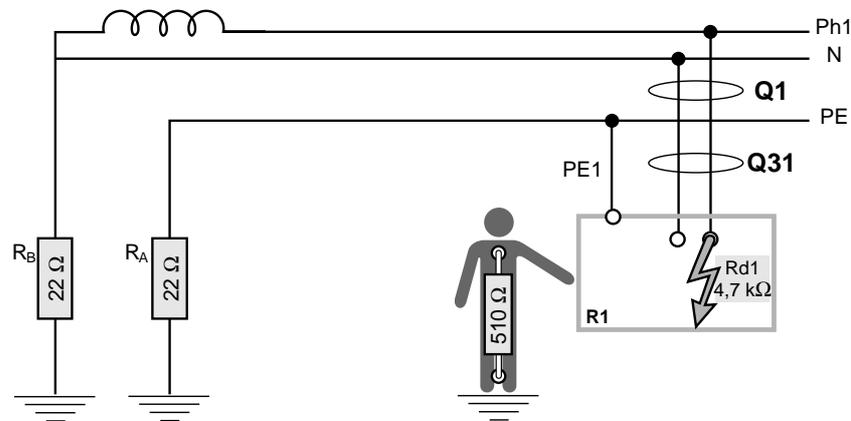


Régime TT
planche 8

TT - 8

a

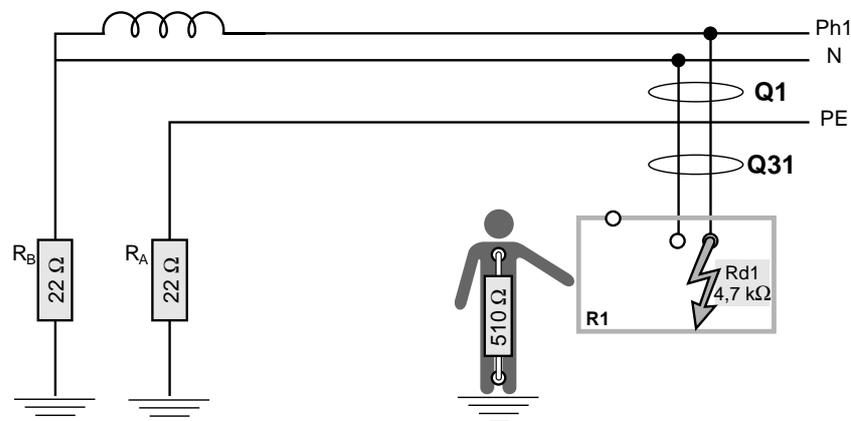
- 1 - Ouvrir tous les organes de coupure (Q1 à Q33).
- 2 - Réaliser le montage correspondant à la planche 8. Schéma équivalent :



- 3 - Mettre sous tension en fermant Q1, Q21, Q31.
- 4 - Créer un défaut de 4,7 kΩ dans le récepteur R1 en fermant Bp1 :
 - l'interrupteur différentiel Q31 s'ouvre : **Il y a donc protection**
 - calculer le courant de défaut Id.

b

- 5 - Supprimer la mise à la Terre de la masse du récepteur R1 en retirant le pont PE1. (Simulation du câble détérioré). Schéma équivalent :



- 6 - Créer un défaut de 4,7 kΩ dans le récepteur R1 en fermant Bp1 :
 - l'interrupteur différentiel Q31 ($I_{\Delta n} = 10 \text{ mA}$) s'ouvre : **Il y a aussi protection.**
 - calculer le courant de défaut Id.

Conclusion

Un DDR de seuil 10 mA assure la protection des personnes même en cas de coupure du câble de mise à la Terre des récepteurs mobiles.

Remarque :

Imposition normative de DDR à haute sensibilité pour les récepteurs mobiles, à condition que le courant I_n soit inférieur ou égal à 32 A.

Régime TT : Autres exemples de manipulations possibles

- Cas d'une masse éloignée non interconnectée,
- défaut sur le neutre,
- valeur limite des déclenchements des DDR,
- protection sélective horizontale,
- avec un oscilloscope numérique, enregistrer la valeur de U_C et le temps de coupure lors d'un défaut et vérifier que ce temps reste bien inférieur à la valeur fixée par les normes pour la tension du réseau (230 V) et les conditions d'exploitation,
- mesurer le courant qui traverse l'opérateur, en présence de défaut.

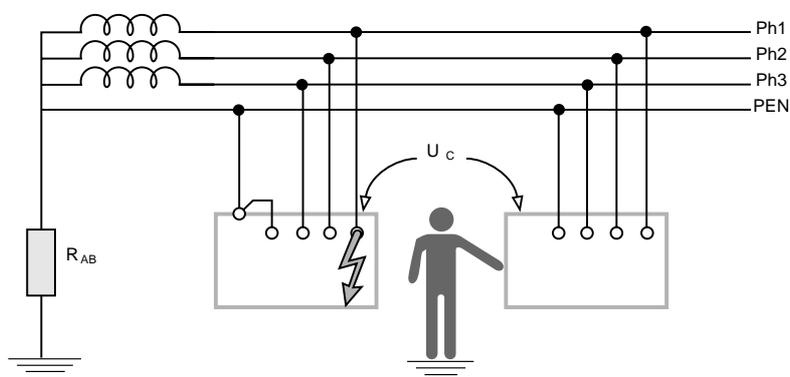
2.2 Le régime TN

■ **Le neutre du transformateur** est relié directement à une prise de Terre R_B . (première lettre T)

■ **Les masses d'utilisation** des récepteurs sont reliées au neutre. (deuxième lettre N).

■ **Toutes les masses** doivent être reliées par un conducteur de protection au point neutre mis à la Terre (**PE** ou **PEN**).

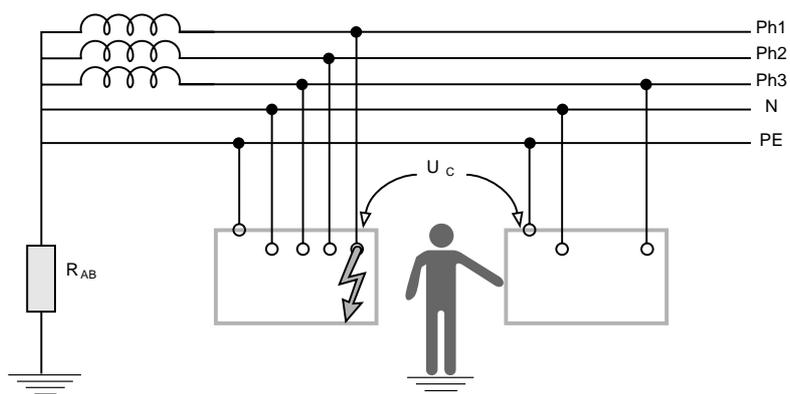
□ **TNC** - le neutre et le conducteur de protection sont **C**onfondus (PEN) :



Le schéma est interdit :

- si $S < 10 \text{ mm}^2$,
- en aval TNS,
- en aval DDR,
- pour les canalisations mobiles.

□ **TNS** - le neutre et le conducteur de protection sont **S**éparés :

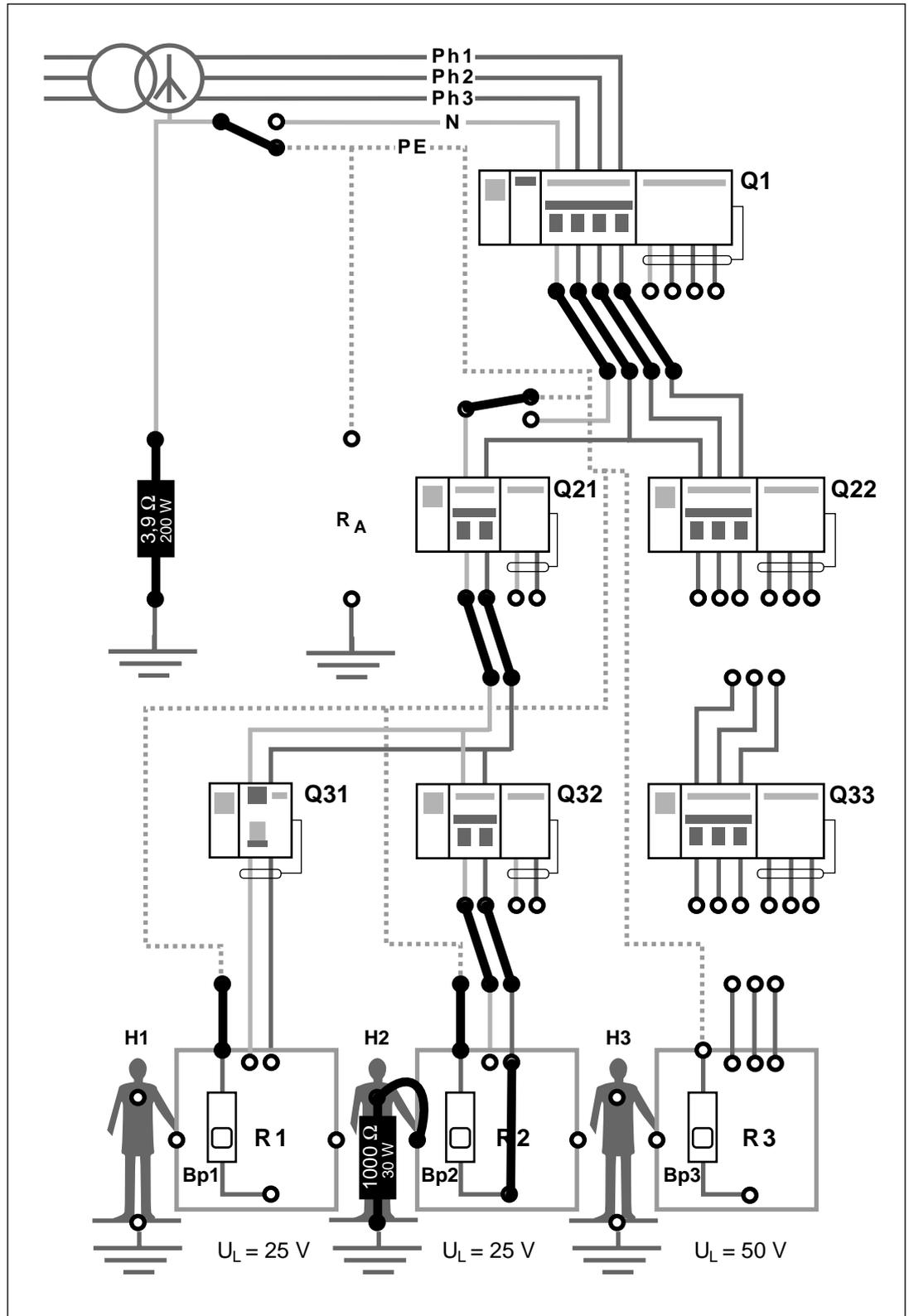


Le schéma est obligatoire si $S \leq 6 \text{ mm}^2$,

TNC en amont TNS
TNS en circuits terminaux.

2.2.1
Régime TN
Manipulation 1

Un défaut franc entraîne une surintensité éliminée par les disjoncteurs magnétiques



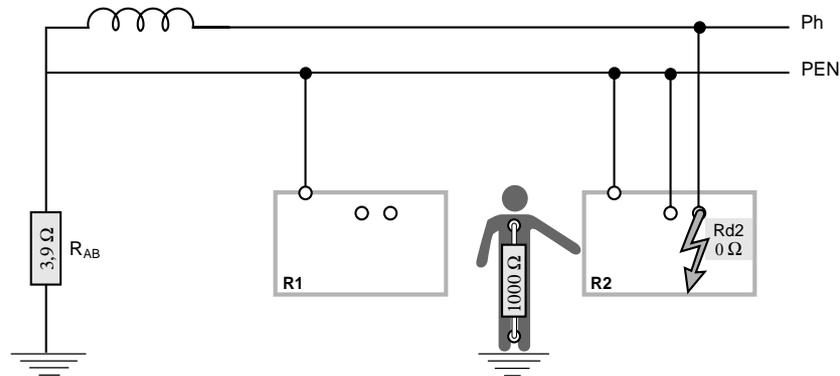
Régime TN
planche 1

TN - 1

Câblage en TNC

- 1 - Ouvrir tous les organes de coupure (Q1 à Q33).
- 2 - Réaliser le montage correspondant à la planche 1.

Schéma équivalent :



- 3 - Mettre sous tension en fermant Q1, Q21 et Q32.
- 4 - Créer un défaut franc dans le récepteur R2 en appuyant sur le bouton poussoir Bp2 :

- le disjoncteur Q32 déclenche : **pas de danger**

(Q21 et Q1 peuvent éventuellement s'ouvrir aussi)

En cas de défaut franc, le courant de défaut I_d est déterminé par l'impédance de la boucle de courant Z_d :

$$I_d = \frac{133V}{Z_d}$$

Z_d est très faible, donc I_d important.

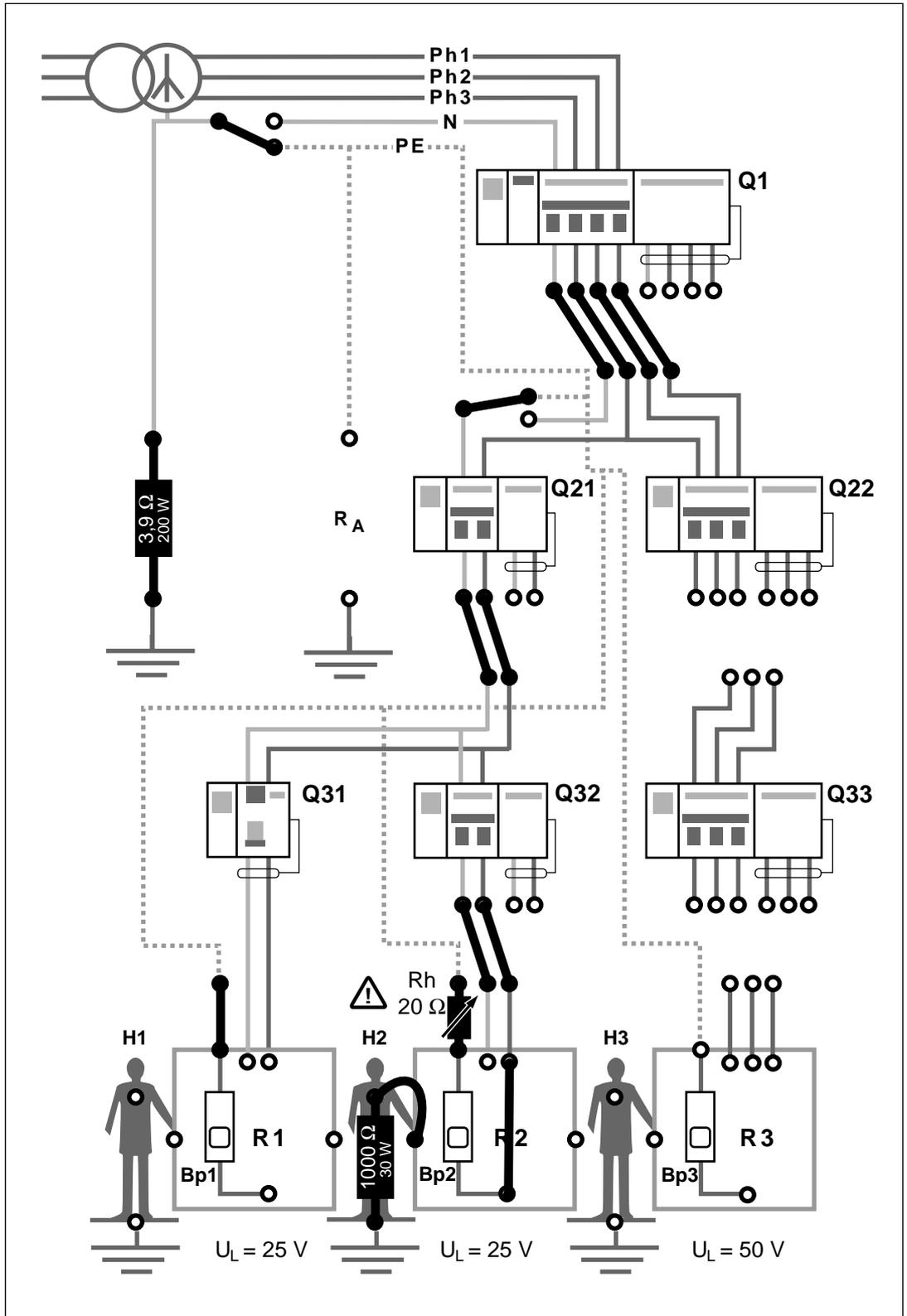
Conclusion

En régime TN, le défaut à la masse se traduit par une surintensité qui est éliminée par les protections classiques (disjoncteurs). Les tensions de contact ne sont pas dangereuses puisqu'il y a coupure instantanée.

2.2.2
Régime TN
Manipulation 2

Un disjoncteur magnétique n'assure pas la protection dans tous les cas.

⚠ Avertissement : utiliser impérativement le rhéostat



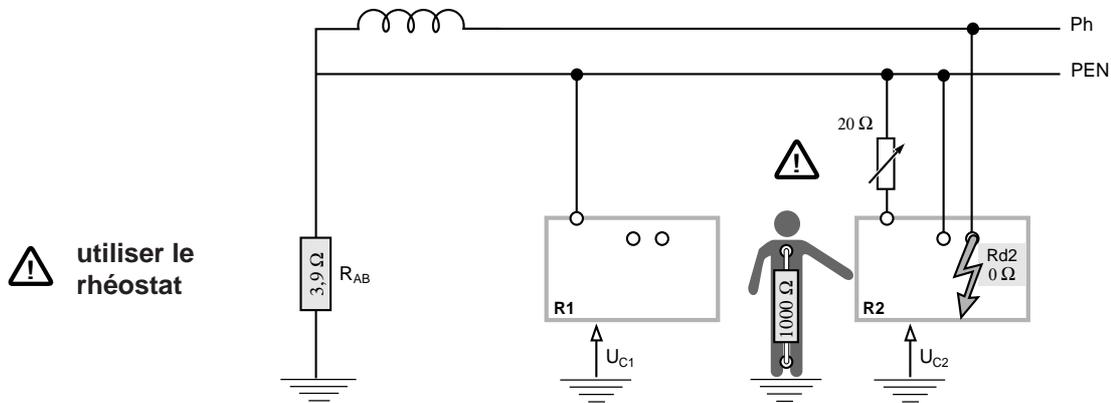
Régime TN
 planche 2

TN - 2

Câblage en TNC

- 1 - Ouvrir tous les organes de coupure (Q1 à Q33).
- 2 - Réaliser le montage correspondant à la planche 2 (pour la résistance de $20\ \Omega$, utiliser le rhéostat).

Schéma équivalent :

**Nota :**

la résistance variable de $20\ \Omega$ symbolise la résistance du câble de mise à la Terre d'un départ long (ici matérialisée par le rhéostat).

- 3 - Mettre sous tension en fermant Q1, Q21 et Q32.
- 4 - Créer un défaut franc dans le récepteur R2 en appuyant sur le bouton poussoir Bp2 :
 - Le disjoncteur Q32 ne déclenche pas.
 - Calculer le courant de défaut I_d et exploiter la courbe de déclenchement fournie en annexe (chapitre 3).
- 5 - Mesurer les tensions entre les masses des récepteurs R1 et R2 et la Terre :

$$U_{C1} = 0$$

$$U_{C2} = 133\ \text{V} : \text{DANGER, puisque la tension de contact } U_{C2} \text{ est supérieure à } U_L (25\ \text{V}).$$

Voir les temps de coupure dans le tableau 48A en fin de ce chapitre « Régime TN ».

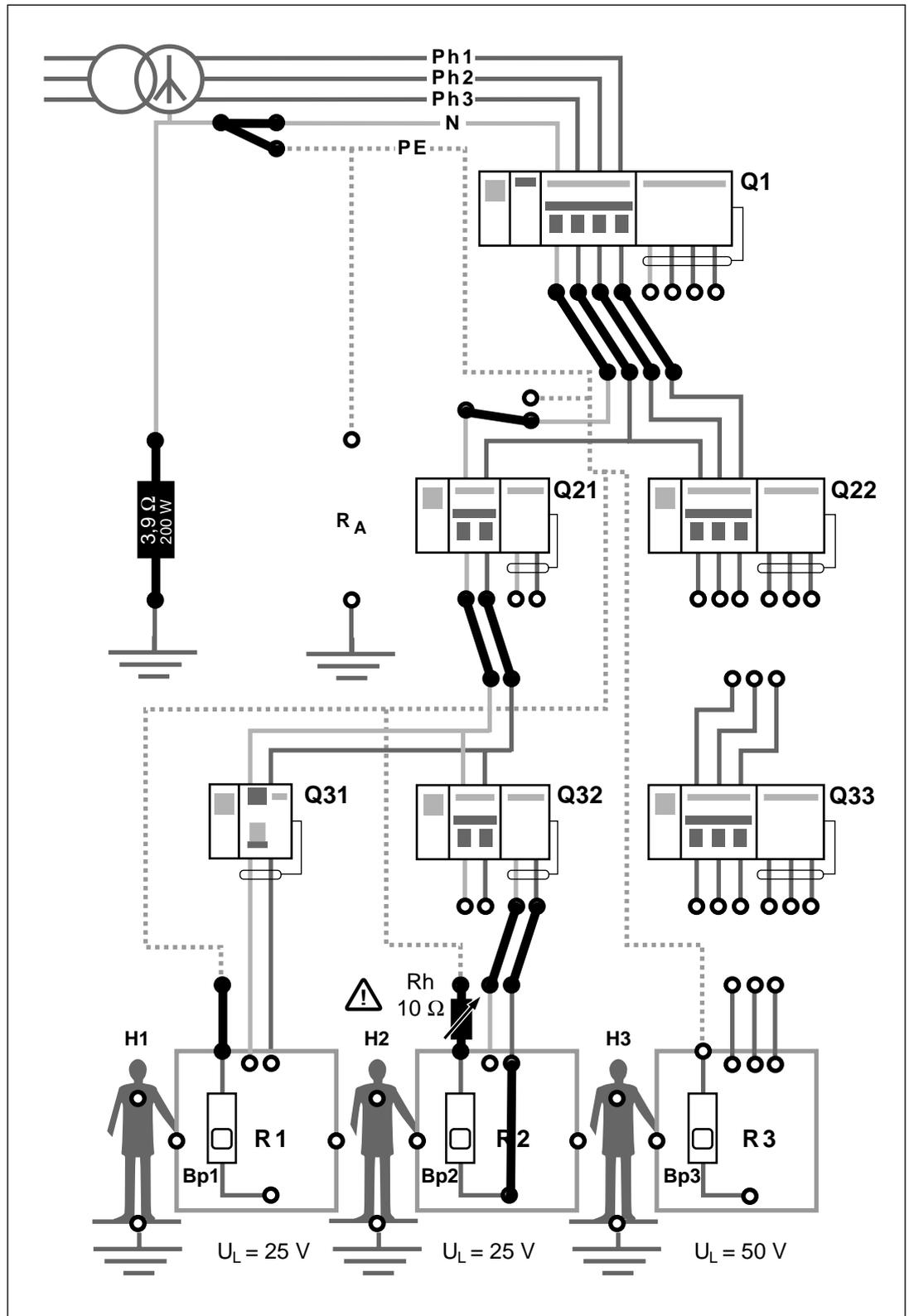
Conclusions

- L'apparition d'un défaut sur un départ long provoque des montées en potentiel dangereuses.
- Le disjoncteur magnéto-thermique n'assure pas sur les départs longs la protection contre les contacts indirects.
- Un disjoncteur magnéto-thermique assure la protection contre les contacts indirects seulement dans la mesure où les câbles d'alimentation des récepteurs ne sont pas trop longs.

2.2.3
Régime TN
Manipulation 3

Conditions optimales de protection.

⚠ Avertissement : utiliser impérativement le rhéostat



Régime TN
 planche 3

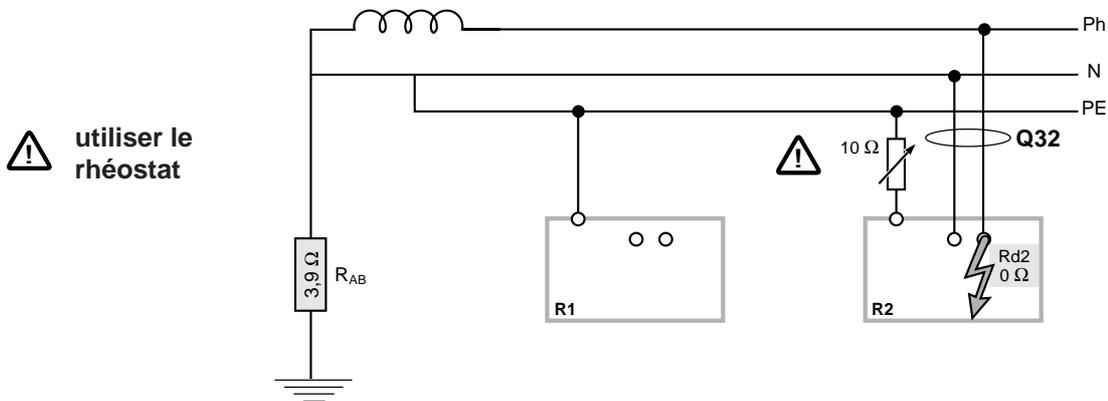
TN - 3

Câblage en TNS

1 - Ouvrir tous les organes de coupure (Q1 à Q33).

2 - Réaliser le montage correspondant à la planche 3 (pour la résistance de $10\ \Omega$, utiliser le rhéostat).

Schéma équivalent :



3 - Mettre sous tension en fermant Q1, Q21 et Q32.

4 - Créer un défaut franc dans le récepteur R2 en appuyant sur le bouton poussoir Bp2 :

- le disjoncteur différentiel Q32 s'ouvre instantanément : **pas de danger**

Conclusion

Si les longueurs de câbles sont trop importantes pour assurer la protection par disjoncteur, il conviendra :

- d'augmenter la section du PE,
- ou • d'utiliser un disjoncteur de type B,
- ou • d'installer un DDR

Nota :

Un DDR de seuil inférieur à 500 mA sera nécessaire sur les départs alimentant des locaux à risque d'incendie.

Régime TN : Autres exemples de manipulations possibles

■ mettre en évidence les risques d'incendie (DDR obligatoire dans certains cas),

■ montrer les risques si le conducteur PE est coupé,

■ avec un oscilloscope numérique enregistrer la valeur de U_c et le temps de coupure lors d'un défaut et vérifier que ce temps reste bien inférieur à la valeur fixée par les normes pour la tension du réseau (230 V) et les conditions d'exploitation

Pour mémoire, la nouvelle norme **NFC 15-100** donne les valeurs des durées **maximales** de maintien de la tension de contact :

Régime **TN**, pour $U_L = 50 \text{ V}$:

Tension nominale U_0 (volts)	Temps de coupure (secondes)
120 - 127	0,8
220 - 230	0,4
380 - 400	0,2
> 400	0,1

Tableau 41A

Régime **TN**, pour $U_L = 25 \text{ V}$:

Tension nominale U_0 (volts)	Temps de coupure (secondes)
120 - 127	0,35
220 - 230	0,2
380 - 400	0,05
580	0,02

Tableau 48A

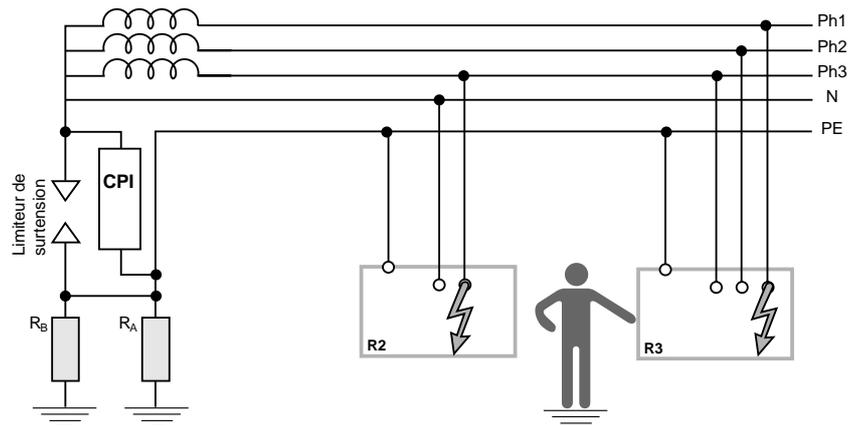
U_0 : tension entre phase et neutre

2.3 Le régime IT

■ **Le neutre du transformateur** est isolé de la Terre.
(1^{ère} lettre : I = isolé).

■ **Les masses d'utilisation** des récepteurs sont reliées directement à une prise de Terre.
(2^{ème} lettre : T = Terre)

(Si la résistance de la prise de Terre est inférieure à 1Ω , il est conseillé de relier les masses et le neutre à cette prise de Terre)



Signalisation au premier défaut
Déclenchement au 2^{ème} défaut entre deux phases

■ **Mise en œuvre et réglage du Contrôleur Permanent d'Isolément XM200 :**

1 - Réaliser la liaison du CPI.

2 - Mettre le CPI sous tension en fermant le disjoncteur situé en dessous de celui-ci. Le CPI lance un autotest dès sa mise sous tension, et il est opérationnel au bout de 20 secondes. Au bout de 6 heures, l'appareil relance automatiquement un nouvel autotest.

3 - Régler les seuils de prévention et d'alarme du CPI (voir notice technique du XM200 pour les procédures de réglage) :

3.1) le CPI est équipé d'un premier seuil dit "de prévention" afin d'informer l'utilisateur de la baisse d'isolement de son installation. **Régler le seuil de prévention Sp à 10 k Ω**

3.2) le CPI est obligatoirement équipé d'un seuil dit "d'alarme" qui prévient l'utilisateur du niveau bas de l'isolement de son installation. **Régler le seuil d'alarme Sa à 2 k Ω**

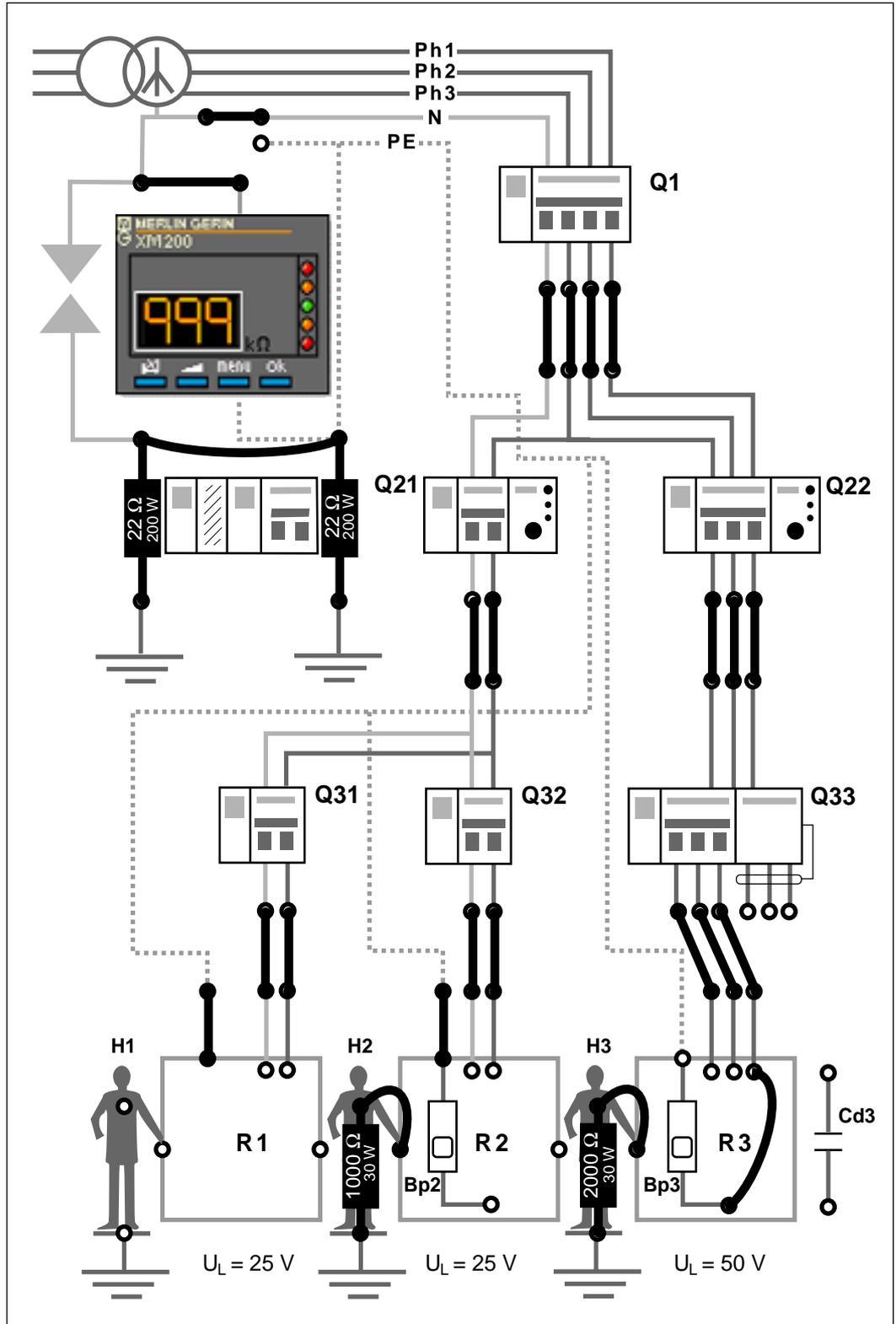
3.3) **régler le temps du CPI à 15 secondes.** Cette temporisation permet au CPI XM200 de ne pas réagir pour des défauts fugitifs de courte durée, inférieurs à ce temps.

■ **Nota :** si la prise de terre des masses est séparée des masses d'utilisation, il y a obligation d'employer un DDR sur chaque groupe de masses (voir § 532.2.5 de la NF C 15-100).



2.3.1
Régime IT
Manipulation 1

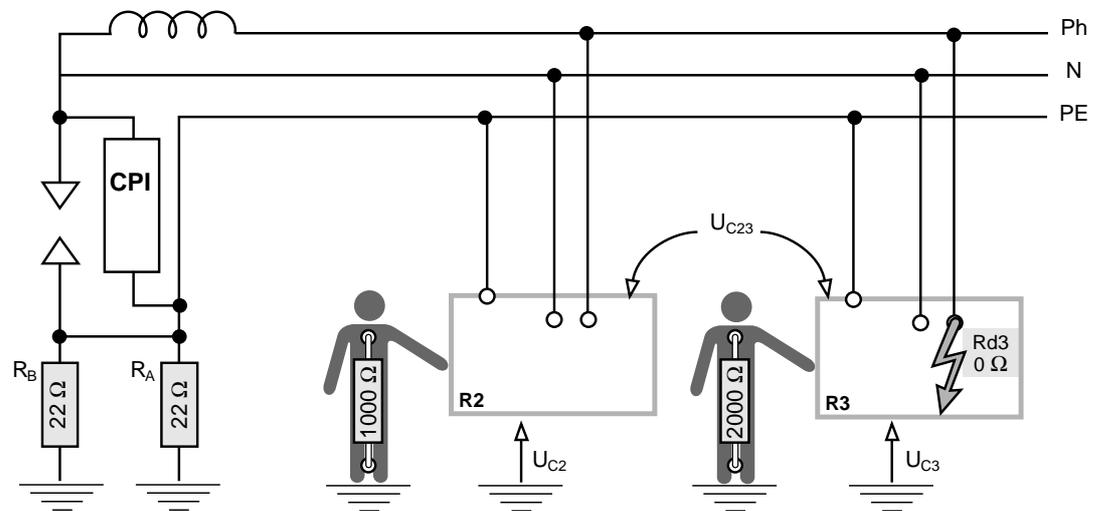
L'interconnexion et la mise à la Terre des masses sont des conditions nécessaires et suffisantes pour la protection en cas de premier défaut



Régime IT
planche 1

IT- 1

- 1 - Ouvrir tous les organes de coupure (Q1 à Q33).
- 2 - Réaliser le montage correspondant à la planche 1. Schéma équivalent :



3 - Mettre sous tension en fermant Q1, Q21, Q22, Q32 et Q33. Si le CPI n'est pas sous tension, fermer le disjoncteur puis attendre 20 secondes environ (durée de l'autotest) ; vérifier les réglages de Sp (= 10 kΩ), Sa (= 2 kΩ) et T (= 15 sec).

4 - Créer un défaut franc dans le récepteur R3 en appuyant sur le bouton poussoir Bp3.

5 - Mesurer la tension entre la masse du récepteur R2 et la Terre :

$$U_{C2} = 0V \quad : \quad \text{pas de danger.}$$

6 - Mesurer les tensions entre :

- la masse du récepteur R3 et la Terre

$$U_{C3} = 0V \quad : \quad \text{pas de danger,}$$

Conclusion

Lors de l'apparition d'un premier défaut (même franc), il n'y a pas de danger. Le déclenchement n'est donc pas nécessaire au premier défaut, il faut cependant prévoir un dispositif qui contrôle l'isolement du réseau et signale l'apparition d'un premier défaut.

Nota :

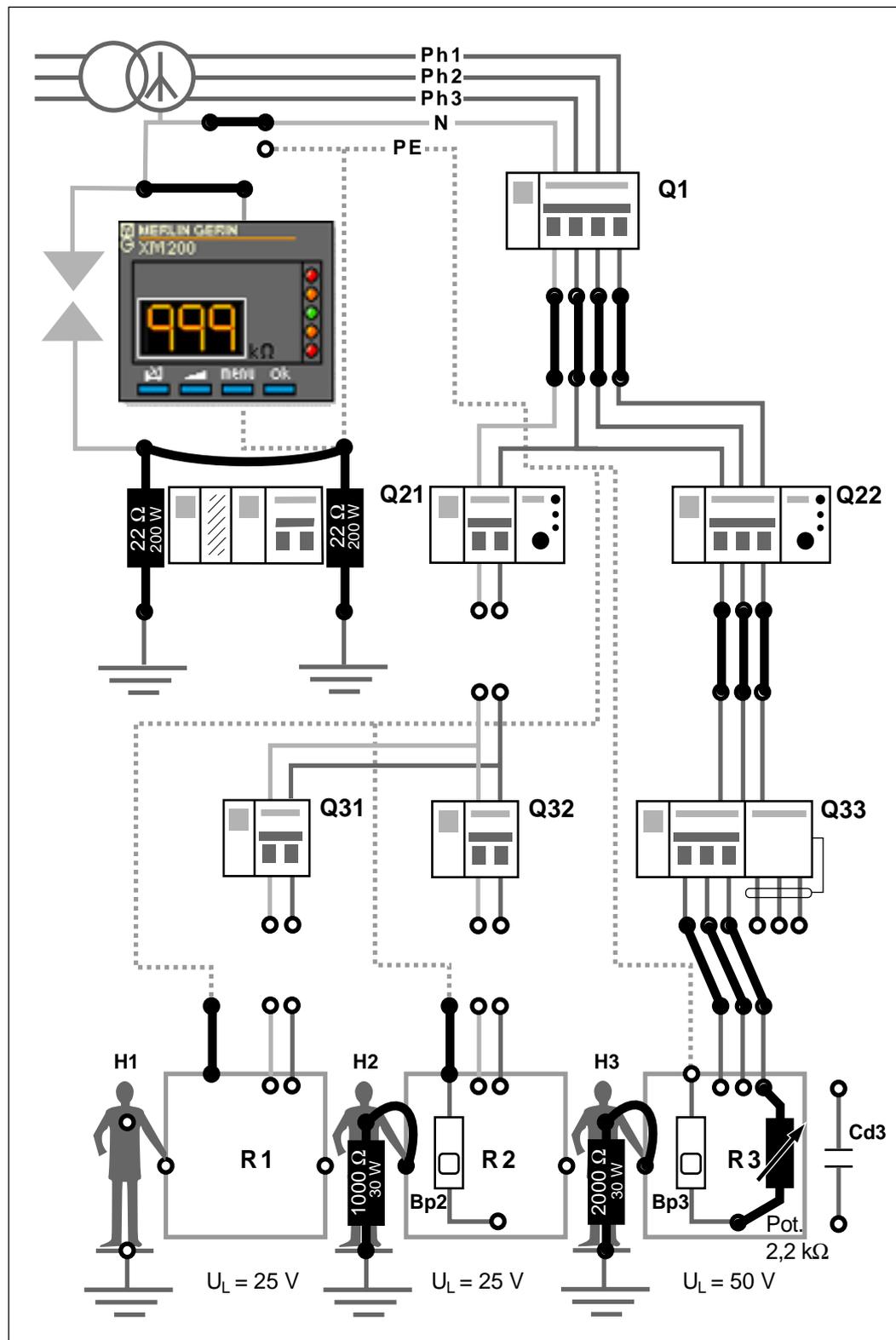
Après la mise hors tension du départ en défaut, voire de toute l'installation, le CPI XM200 prévient l'utilisateur de l'existence de ce défaut : le CPI XM200 l'a mémorisé, avec sa valeur, et le défaut est consultable (touche « menu ») et effaçable (touche « OK ») à tout instant dans le menu principal.

En schéma IT, et en cas de premier défaut, l'impédance Z_d de la boucle de défaut est l'impédance du réseau par rapport à la Terre.

Dans le cas précis de ce banc d'essais, cette impédance Z_d est constituée essentiellement par l'impédance interne du CPI, car la longueur des câbles n'est pas significative.

2.3.2
Régime IT
Manipulation 2

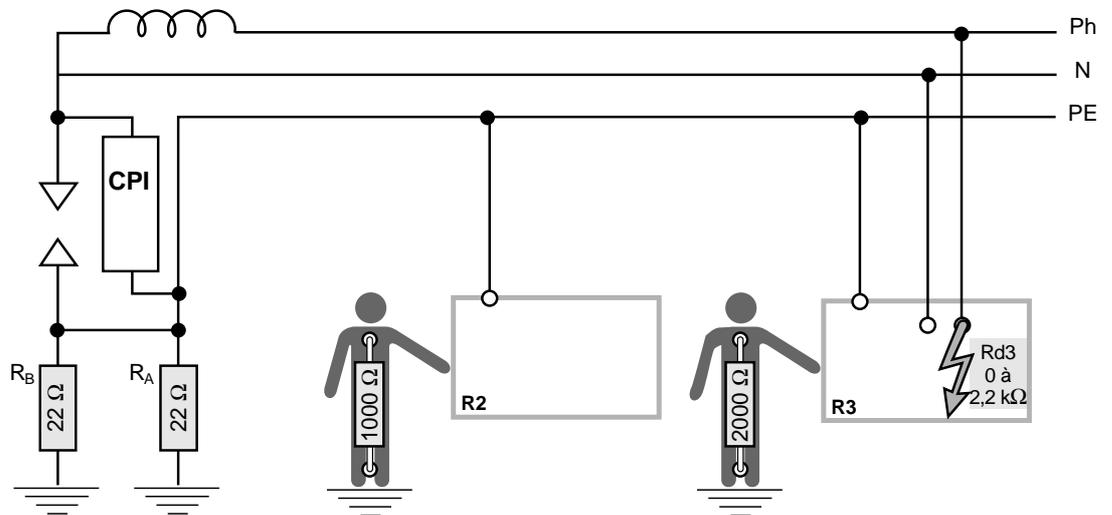
Contrôle permanent de l'isolement du réseau par rapport à la Terre, et signalisation d'un premier défaut.



Régime IT
planche 2

IT - 2

- a**
- 1 - Ouvrir tous les organes de coupure (Q1 à Q33).
 - 2 - Réaliser le montage correspondant à la planche 2. Schéma équivalent :



- 3 - Mettre sous tension le contrôleur permanent d'isolement (CPI) et vérifier les réglages de S_p (= 10 k Ω), S_a (= 2 k Ω) et T (= 15 sec).
- 4 - Ajuster le potentiomètre Rd3 à 2,2 k Ω (valeur maximum).
- 5 - Mettre le réseau sous tension en fermant Q1, Q22 et Q33
- 6 - Créer un défaut permanent dans le récepteur R3 en court-circuitant Bp3 :



- 6.1) le voyant lumineux orange du CPI s'allume (sollcitation du seuil de prévention $S_p = 10$ k Ω) ;
- 6.2) Diminuer lentement Rd3 jusqu'à allumage du voyant lumineux rouge du CPI (sollcitation du seuil d'alarme $S_a = 2$ k Ω) ; la signalisation sonore et lumineuse fonctionne au bout de 15 secondes, et le détecteur XD301 associé à Q22 signale la présence d'un défaut franc au bout de 30 secondes.

Calculer le courant de défaut I_d (sachant que Z interne du CPI ≈ 35 k Ω)

- b**
- 7 - Augmenter la valeur de la résistance de défaut Rd3 : dès que sa valeur est supérieure à S_a (seuil d'alarme), la signalisation rouge disparaît au profit de la signalisation orange ($S_a < \text{défaut} < S_p$), la signalisation sonore annonce que la valeur de Rd3 passe au dessus du seuil d'alarme.
 - 8 - Diminuer la valeur de la résistance de défaut : dès que sa valeur est inférieure au seuil du CPI, la signalisation fonctionne à nouveau au bout de 15 secondes.

Conclusion

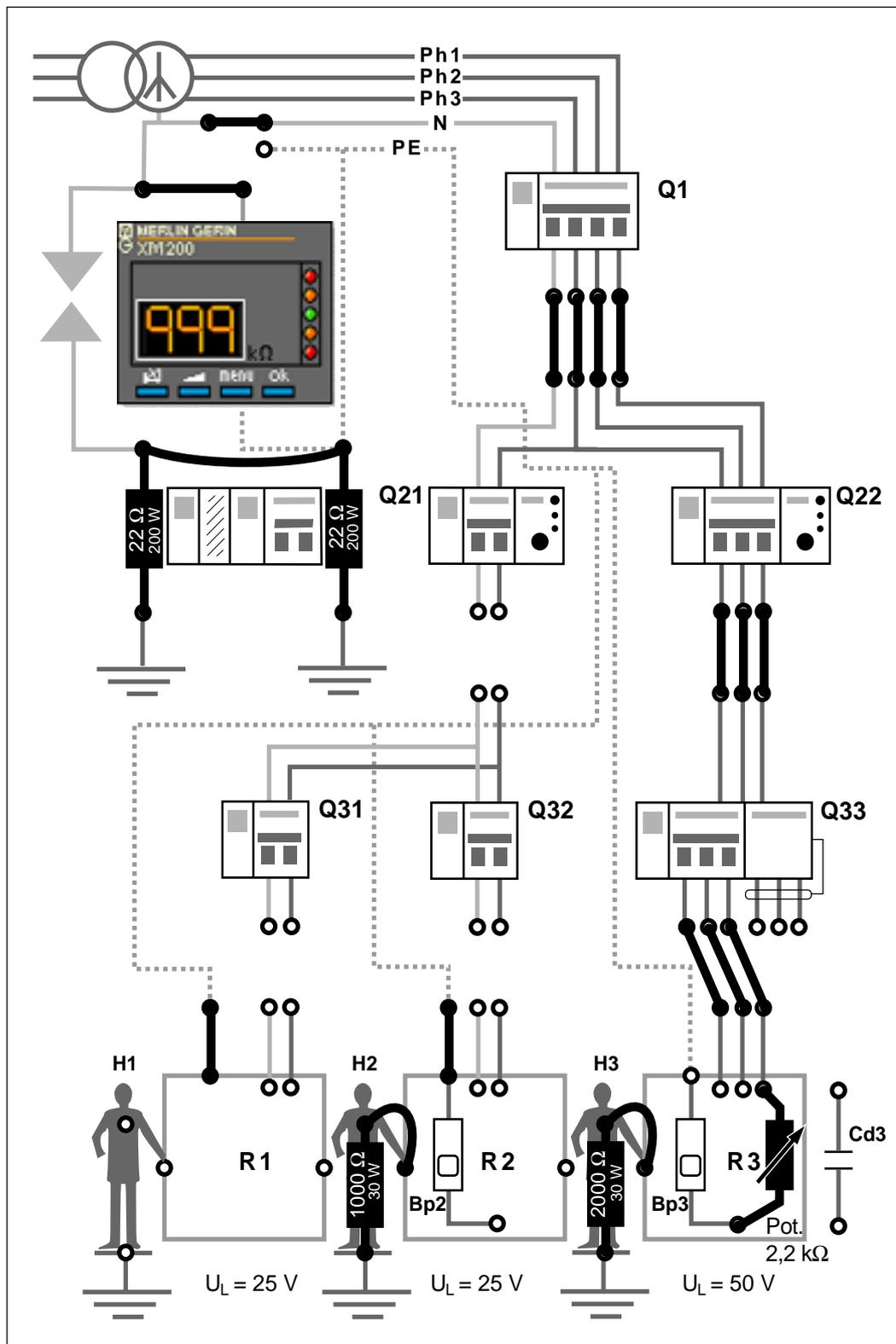
Le CPI contrôle en permanence l'isolement du réseau par rapport à la Terre et signale dès que cet isolement est inférieur à 2 k Ω (seuil déterminé dans notre cas). Il est intéressant de souligner le fait que le CPI signale aussi la baisse de l'isolement bien avant qu'on atteigne le seuil critique, qu'il mémorise le défaut ainsi que sa valeur (si celui-ci est présent plus de 15 secondes), qu'on peut consulter cette mémoire et la réinitialiser à tout instant (memoire effective même si le CPI est hors tension). Enfin, en complément au CPI XM200, la présence des détecteurs XD301 associés aux disjoncteurs de l'installation, réalise le signalement automatique du départ en défaut

Nota :

Le détecteur XD301 est réinitialisé par le bouton poussoir "Reset" sur son boîtier.

2.3.3
Régime IT
Manipulation 3

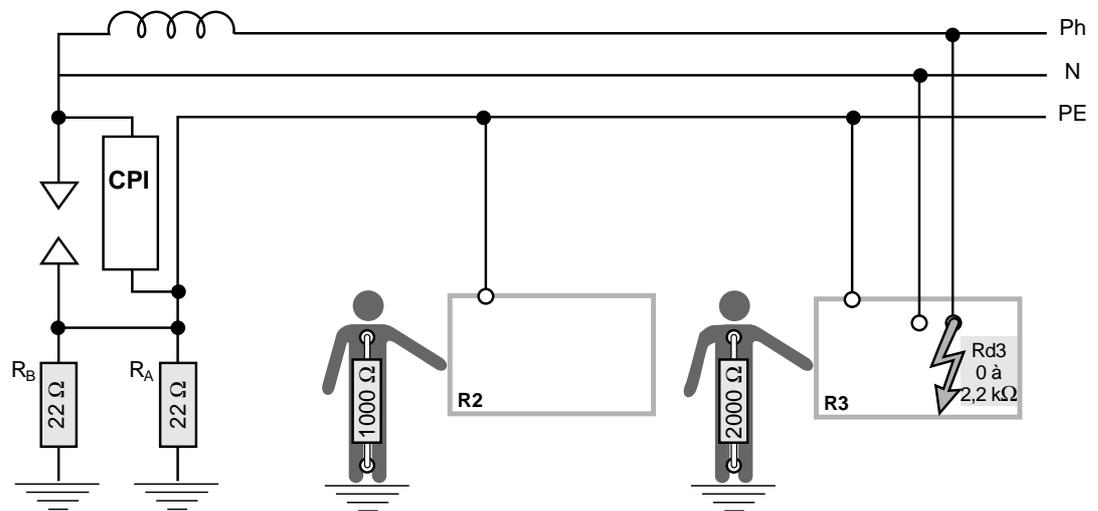
Défaut simple : recherche du départ en défaut par ouvertures successives des divers disjoncteurs.



Régime IT
planche 3

IT - 3

- 1 - Ouvrir tous les organes de coupure (Q1 à Q33).
- 2 - Réaliser le montage correspondant à la planche 3. Schéma équivalent :



- 3 - Vérifier les réglages du CPI : Sp (= 10 kΩ), Sa (= 2 kΩ) et T (= 15 sec).
- 4 - Mettre le réseau sous tension en fermant Q1, Q22, et Q33.
- 5 - Créer un défaut permanent avec Rd3 = 2,2 kΩ (solicitation du seuil de prévention Sp) dans le récepteur R3 en court-circuitant le bouton poussoir Bp3 :
 - 5.1) le voyant orange du CPI, associé à Sp, s'allume ;
 - 5.2) diminuer Rd3 et répéter l'opération jusqu'à allumer le voyant rouge (seuil Sa) et déclencher la signalisation sonore.
 - 5.3) acquitter cette signalisation en appuyant sur le bouton poussoir "Arrêt klaxon" sur le CPI XM200.
- 6 - Ouvrir le disjoncteur Q22 :
 - lorsque Q22 est ouvert la signalisation sonore fonctionne à nouveau.
Le défaut se situe donc en aval de Q22.
- 7 - Refermer Q22 et attendre le déclenchement de la signalisation sonore : l'acquitter. Ouvrir le disjoncteur en aval de Q22, soit Q33 :
 - lorsque Q33 est ouvert la signalisation sonore fonctionne à nouveau.
Le défaut se situe donc en aval de Q33.

Conclusion

Il est possible de localiser le défaut en ouvrant successivement chaque disjoncteur.

Lorsque le disjoncteur qui alimente le défaut est ouvert, l'isolement du réseau remonte, le contact inverseur du seuil du CPI fonctionne et fait retentir la signalisation sonore.

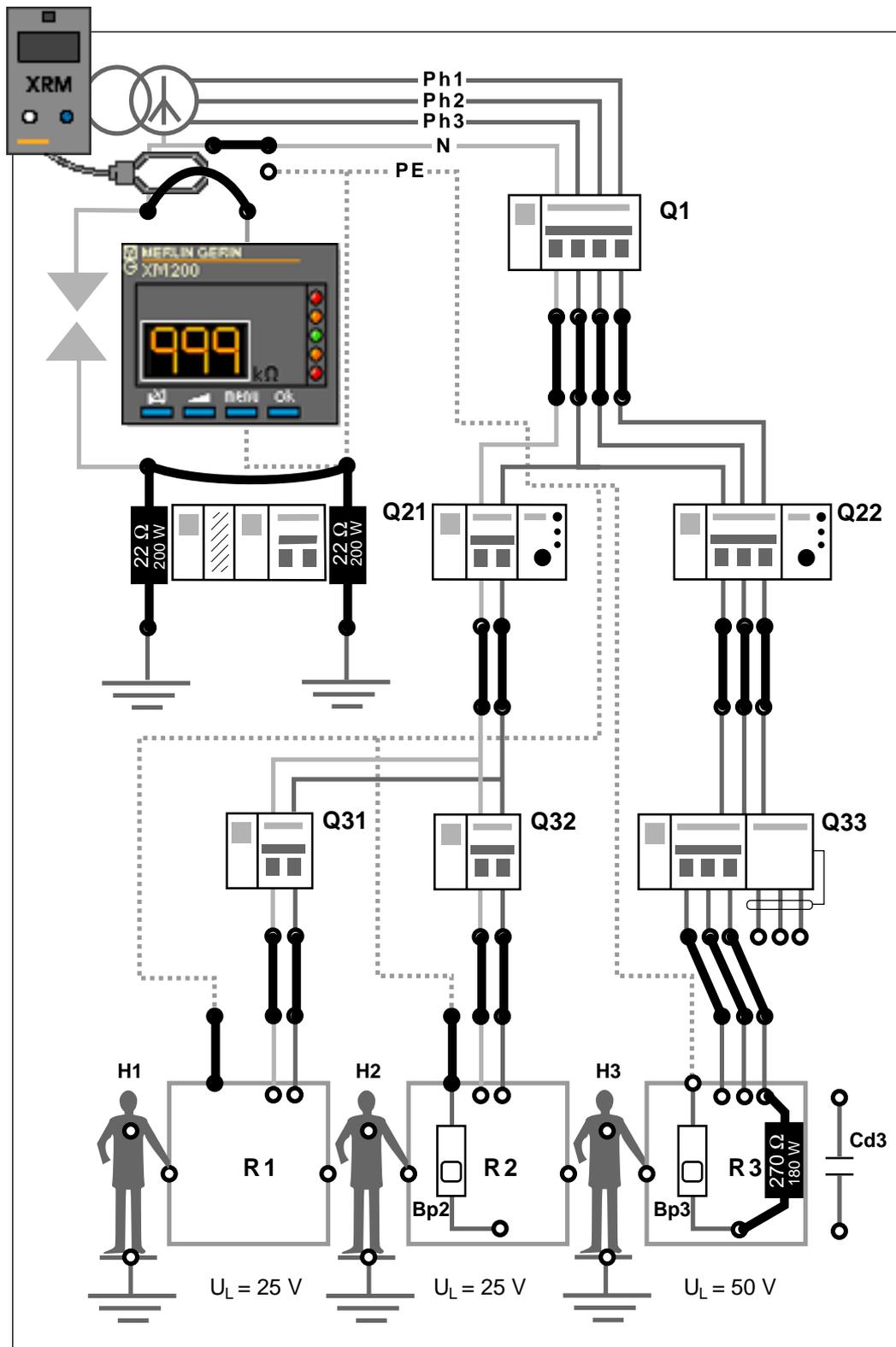
Cette méthode présente cependant l'inconvénient d'interrompre la distribution momentanément. Dans les usines fonctionnant «à feu continu», une interruption, même brève, sur chaque départ n'est pas tolérable : il faut donc dans ce cas trouver une autre solution.

Cette solution est dans la signalisation locale du défaut, ceci étant rendu possible par des détecteurs placés sur chaque départ ou groupement de départs.

2.3.4
Régime IT
Manipulation 4

Défaut simple : recherche du départ en défaut par injection de courant alternatif à très basse fréquence.

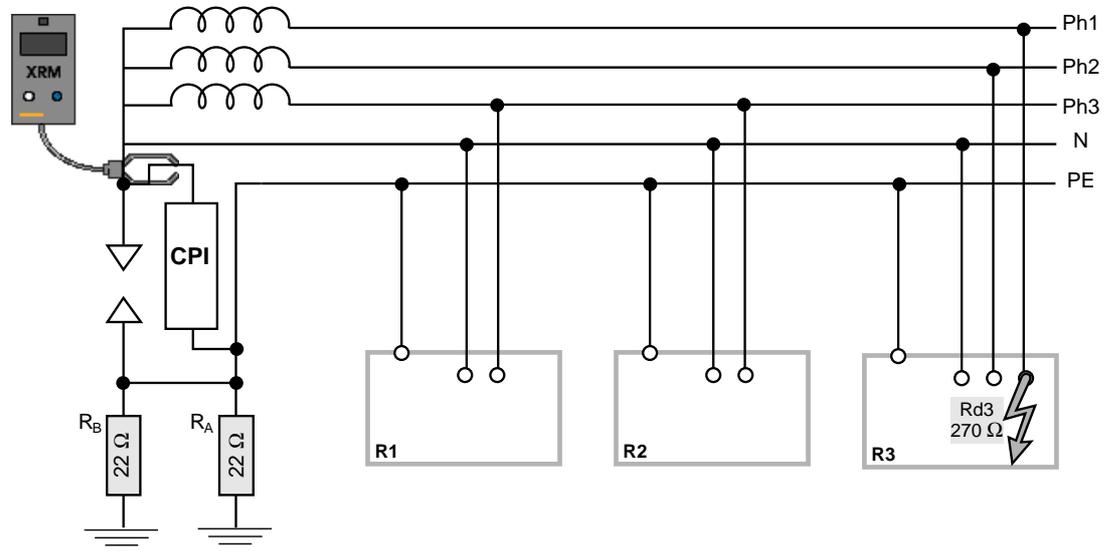
⚠ Attention : Cette manipulation nécessite l'emploi d'un appareil optionnel (afficheur XRM avec pince de mesure) non fourni avec le banc.



Régime IT
planche 4

IT - 4

- 1 - Ouvrir tous les organes de coupure (Q1 à Q33).
 - 2 - Réaliser le montage correspondant à la planche 4.
- Schéma équivalent :



- 3 - Vérifier les réglages du CPI : Sp (= 10 kΩ), Sa (= 2 kΩ) et T (= 15 sec).
- 4 - Mettre la pince du XRM sur le fil de liaison du CPI au Neutre de l'installation : régler le potentiomètre associé à la pince utilisée jusqu'à obtenir la valeur 19 sur l'affichage du XRM.
- 5 - Mettre le réseau sous tension en fermant tous les disjoncteurs, de Q1 à Q33.
- 6 - Créer un défaut permanent de 270 Ω dans R3 en court-circuitant Bp3 :
 - 6.1) les signalisations sonore et lumineuse rouge signalent le défaut ;
 - 6.2) les acquitter par le bouton poussoir sur le CPI.
- 7 - Placer la pince du XRM successivement sur chaque liaison en englobant tous les fils, en partant de Q1, puis en descendant vers les récepteurs.
 - 7.1) Pince placée en aval de Q1, le XRM affiche une valeur (19) différente de 0 : **le défaut est donc en aval de Q1.**
 - 7.2) Pince placée en aval de Q21, le XRM affiche 0 : **le défaut n'est donc pas en aval de Q21.**
 - 7.3) Pince placée en aval de Q22, le XRM affiche une valeur (19) différente de 0 : **le défaut est donc en aval de Q22.**
 - 7.4) Pince placée en aval de Q33, le XRM affiche une valeur (19) différente de 0 : **le défaut est donc en aval de Q33, dans le récepteur R3.**

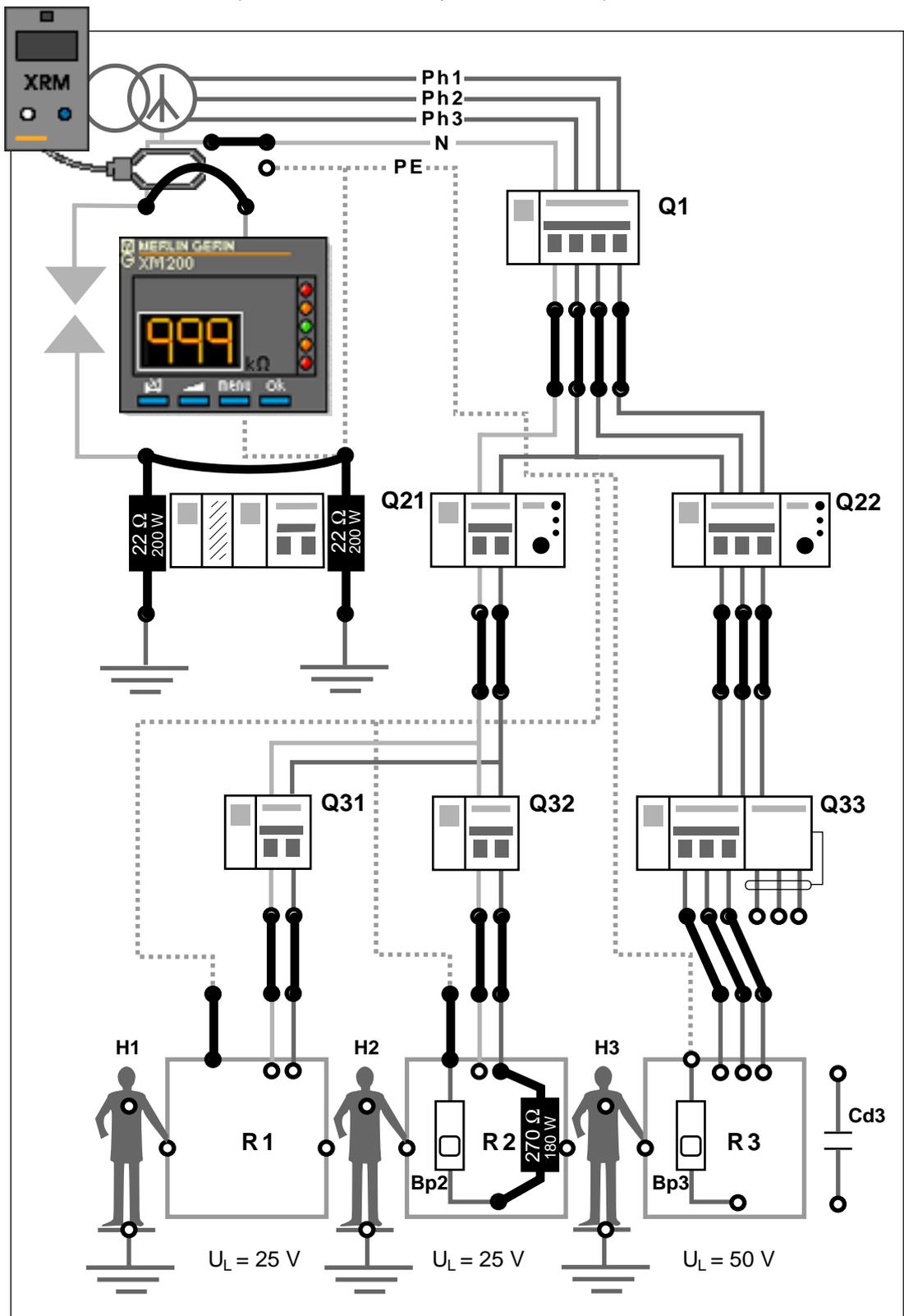
Nota :

La pince du XRM doit impérativement englober tous les conducteurs actifs du départ à contrôler (3Ph+N ou Ph+N)

2.3.5
Régime IT
Manipulation 5

Défaut simple : recherche du départ en défaut par injection de courant alternatif à très basse fréquence et détecteur fixe.

⚠ Attention : Cette manipulation nécessite l'emploi d'un appareil optionnel (afficheur XRM avec pince de mesure) non fourni avec le banc.

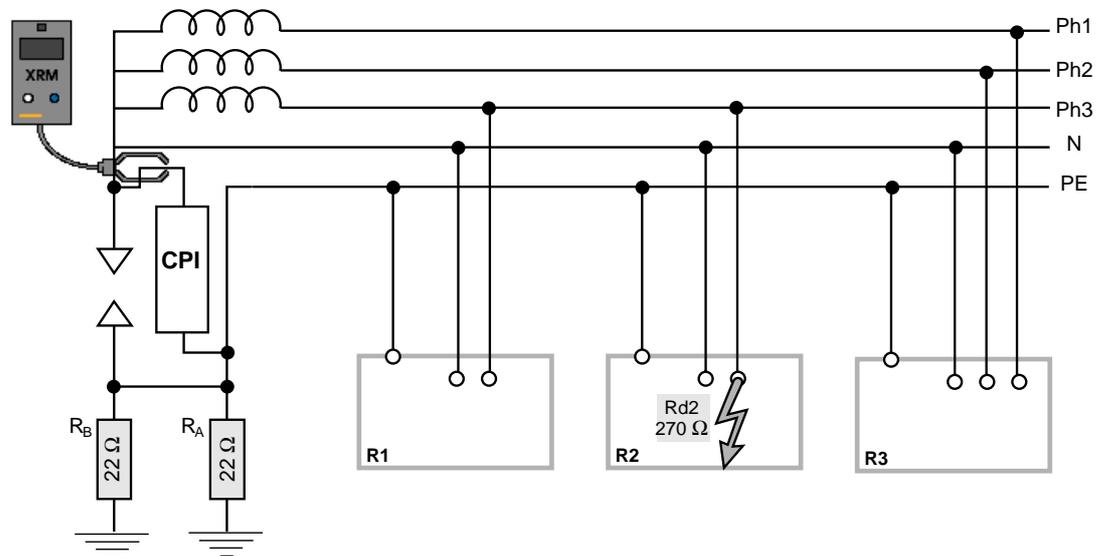


Régime IT
planche 5

IT - 5

a

- 1 - Ouvrir tous les organes de coupure (Q1 à Q33).
- 2 - Réaliser le montage correspondant à la planche 5. Schéma équivalent :



- 3 - Vérifier les réglages du CPI : Sp (= 10 kΩ), Sa (= 2 kΩ) et T (= 15 sec).
- 4 - Mettre la pince du XRM sur le fil de liaison du CPI au Neutre de l'installation : régler le potentiomètre associé à la pince utilisée jusqu'à obtenir la valeur 19 sur l'affichage du XRM.
- 5 - Mettre le réseau sous tension en fermant tous les disjoncteurs, de Q1 à Q33.
- 6 - Créer un défaut permanent de 270 Ω dans R2 en court-circuitant Bp2 :
 - 6.1) les signalisations sonore et lumineuse rouge signalent le défaut ;
 - 6.2) les acquitter par le bouton poussoir sur le CPI.
- 7 - Placer la pince du XRM successivement sur chaque liaison en englobant tous les fils, en partant de Q1, puis en descendant vers les récepteurs.
 - 7.1) Pince placée en aval de Q1, le XRM affiche une valeur (19) différente de 0 :
le défaut est donc en aval de Q1.
 - 7.2) Pince placée en aval de Q21, le XRM affiche une valeur (19) différente de 0 :
le défaut est donc en aval de Q21.
 - 7.3) Pince placée en aval de Q22, le XRM affiche 0 :
le défaut n'est donc pas en aval de Q22.
 - 7.4) Pince placée en aval de Q31, le XRM affiche 0 :
le défaut n'est pas dans le récepteur R1
 - 7.5) Pince placée en aval de Q32, le XRM affiche une valeur (19) différente de 0 :
le défaut est donc en aval de Q32, dans le récepteur R2.

b

- 8) La recherche est facilitée par les détecteurs fixes XD301 placés sur les départs Q21 et Q22. Seul le détecteur placé sur Q21 signale le défaut, mais ne peut préciser le récepteur défectueux. Il est donc possible d'effectuer la recherche en plaçant la pince du XRM directement sur Q31, puis Q32 (manipulations 7.4 et 7.5).

Conclusion

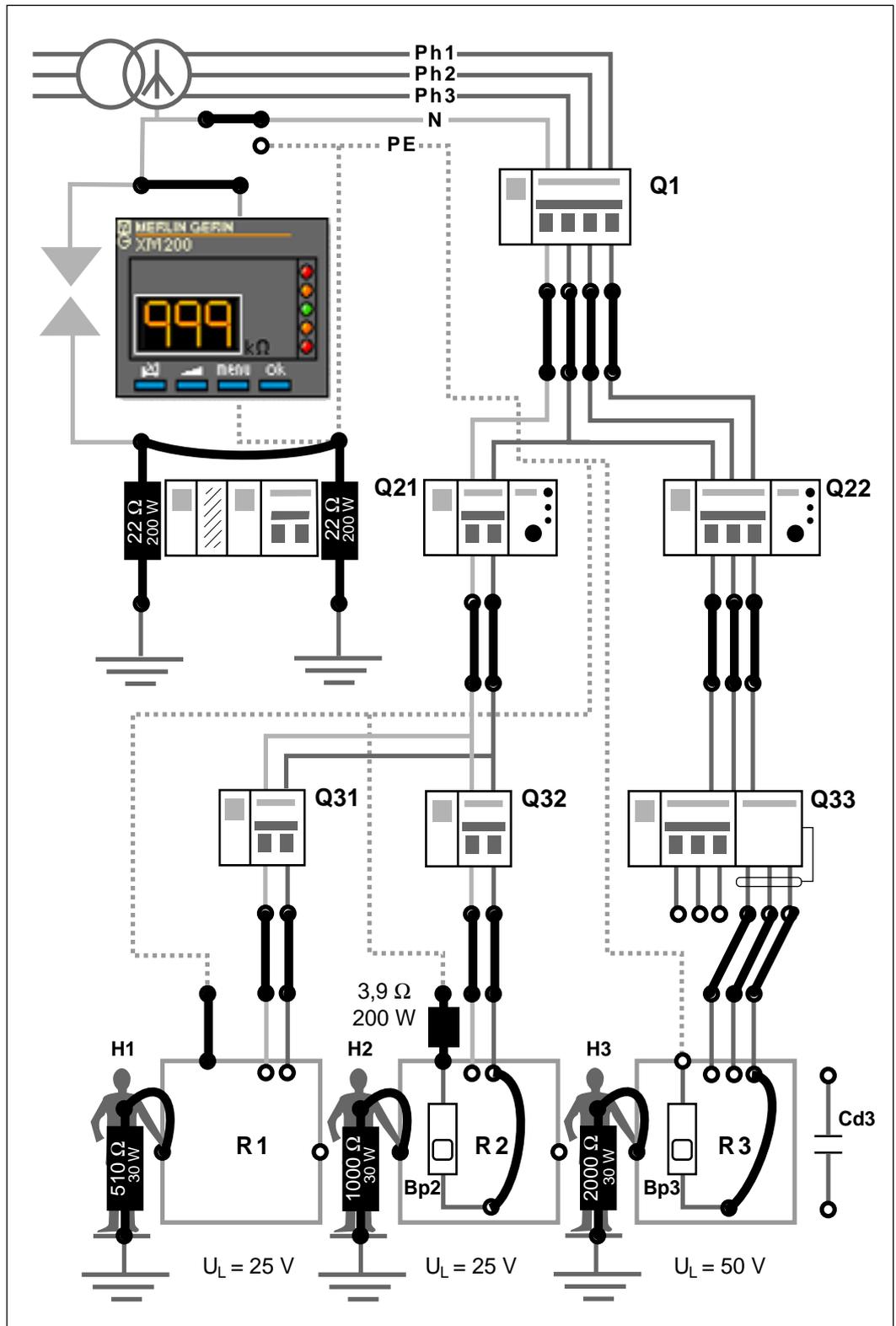
La recherche mobile par le boîtier XRM associé à sa pince permet de localiser le défaut avec précision : en effet, un câble long peut être en défaut à une extrémité ou en point quelconque. Avec un détecteur mobile, la pince, on peut déplacer la recherche le long du câble défectueux et localiser le défaut sans interrompre l'utilisation de l'installation.

Nota :

La localisation du récepteur en défaut est plus rapide grâce à l'aide apporté par les détecteurs fixes XD301 placés sur les départs Q21 et Q22 : ils aiguillent la recherche par la signalisation du passage du courant de défaut.

2.3.6
Régime IT
Manipulation 6

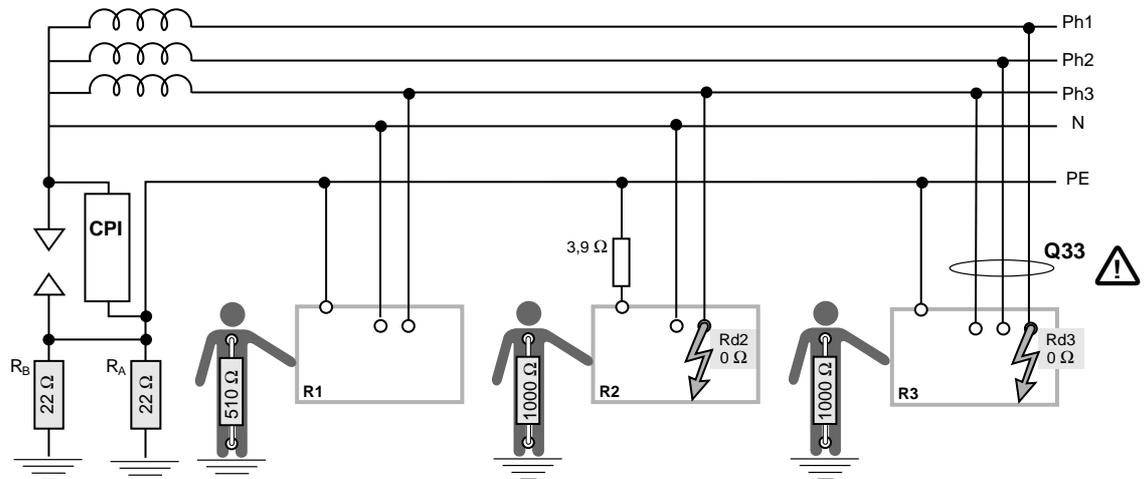
Défaut double : défaut franc sur R2 (phase 3) et défaut franc sur R3 (phase 1), nécessité de prévoir des DDR sur les départs longs.



Régime IT
planche 6

IT - 6

- 1 - Ouvrir tous les organes de coupure (Q1 à Q33).
- 2 - Réaliser le montage correspondant à la planche 6. Schéma équivalent :



Nota :



Simulation d'un départ long par $R = 3,9 \Omega$ dans la boucle de défaut.

Câblage obligatoire du DDR sur Q33, car non-déclenchement magnétique de Q33.

- 3 - Vérifier les réglages du CPI : $S_p (= 10 \text{ k}\Omega)$, $S_a (= 2 \text{ k}\Omega)$ et $T (= 15 \text{ sec})$.
Fermer Q1 à Q33.

- 4 - Créer un défaut franc permanent sur la phase Ph1 dans R2, en court-circuitant Bp2 :

- 4.1) les signalisations lumineuse et sonore fonctionnent,
- 4.2) acquitter les signalisations par le bouton "Arrêt klaxon" du CPI,
- 4.3) le détecteur XD301 associé à Q21 signale le défaut sur ce départ.

- 5 - Créer un deuxième défaut franc dans R3 (utiliser la phase la plus à droite, Ph3) en appuyant sur Bp3 : le DDR associé à Q33 déclenche et le défaut en R2 persiste.

Conclusion

Lorsqu'un départ long n'est pas efficacement protégé par les magnétiques de son disjoncteur, il convient :

- d'augmenter la section du PE,
- ou • d'utiliser un disjoncteur de type B,
- ou • d'installer un DDR.

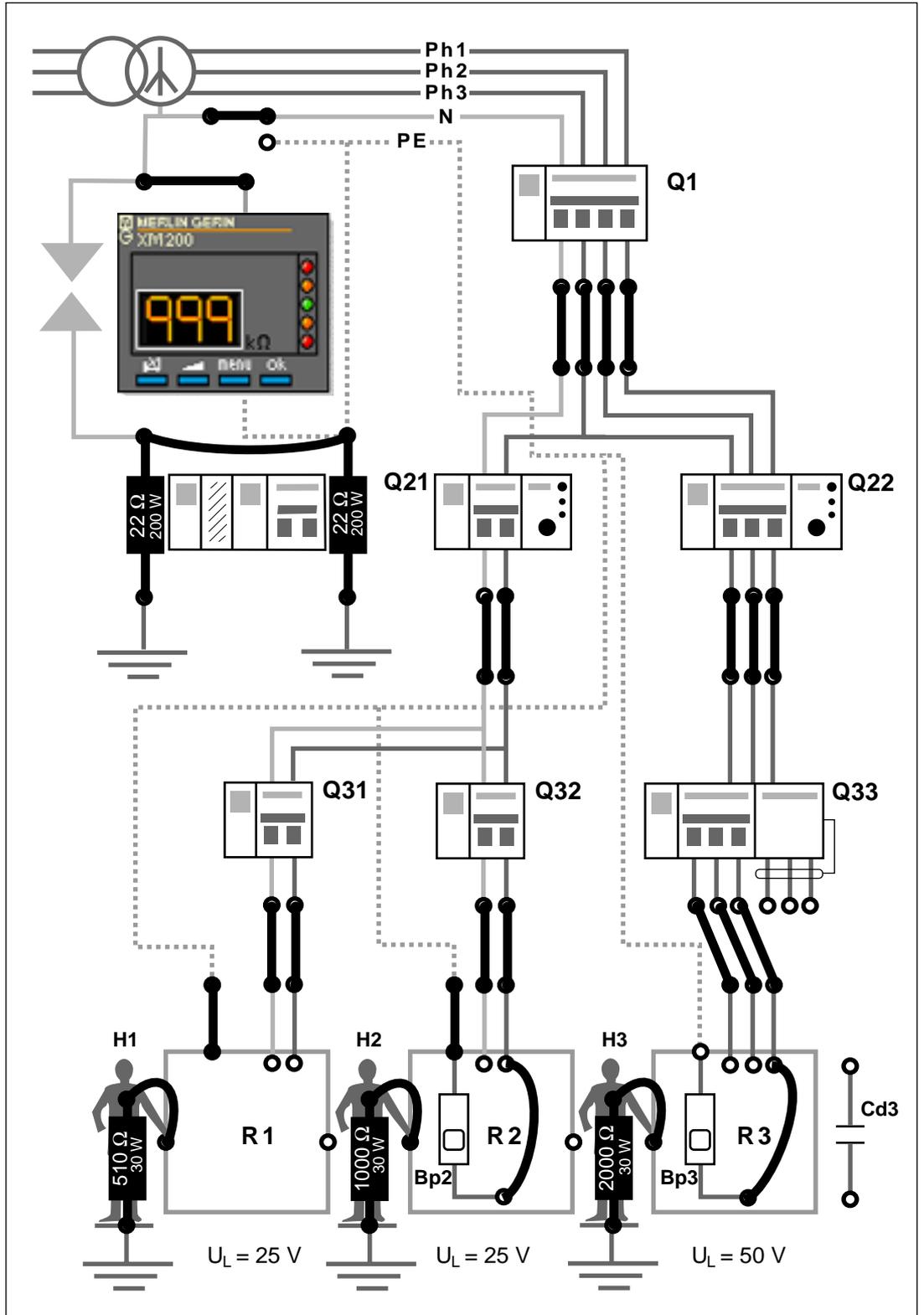
Nota :

Un DDR de seuil inférieur à 500 mA sera nécessaire sur les départs alimentant des locaux à risque d'incendie.

Le DDR est nécessaire sur les départs longs car l'impédance des câbles limite le courant de court-circuit à des valeurs qui peuvent être inférieures au seuil de déclenchement magnétique du disjoncteur Q33.

2.3.7
Régime IT
Manipulation 7

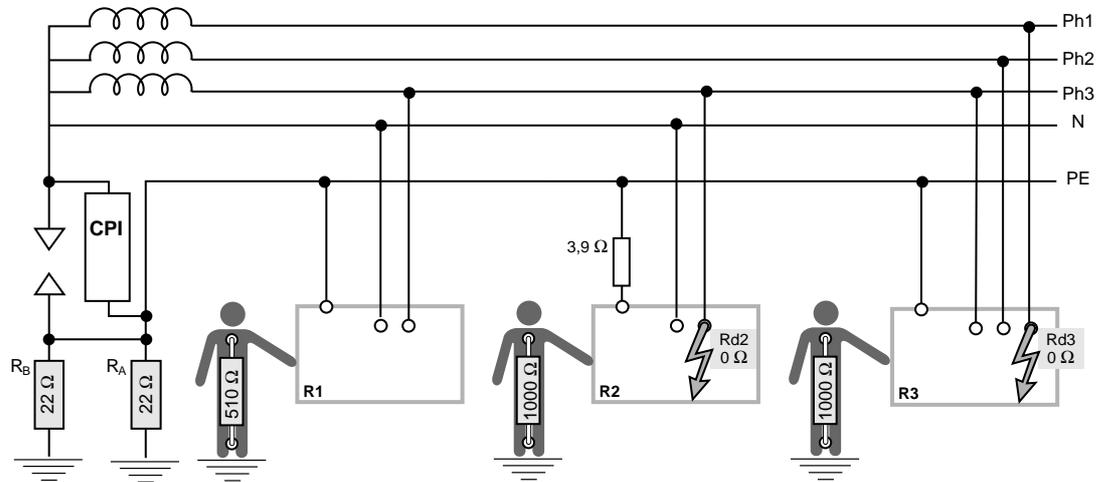
Défaut double : défaut franc sur R2 (phase 3) et défaut franc sur R3 (phase 1), les déclencheurs magnétiques suffisent à la protection.



Régime IT
planche 7

IT - 7

- 1 - Ouvrir tous les organes de coupure (Q1 à Q33).
- 2 - Réaliser le montage correspondant à la planche 7. Schéma équivalent :



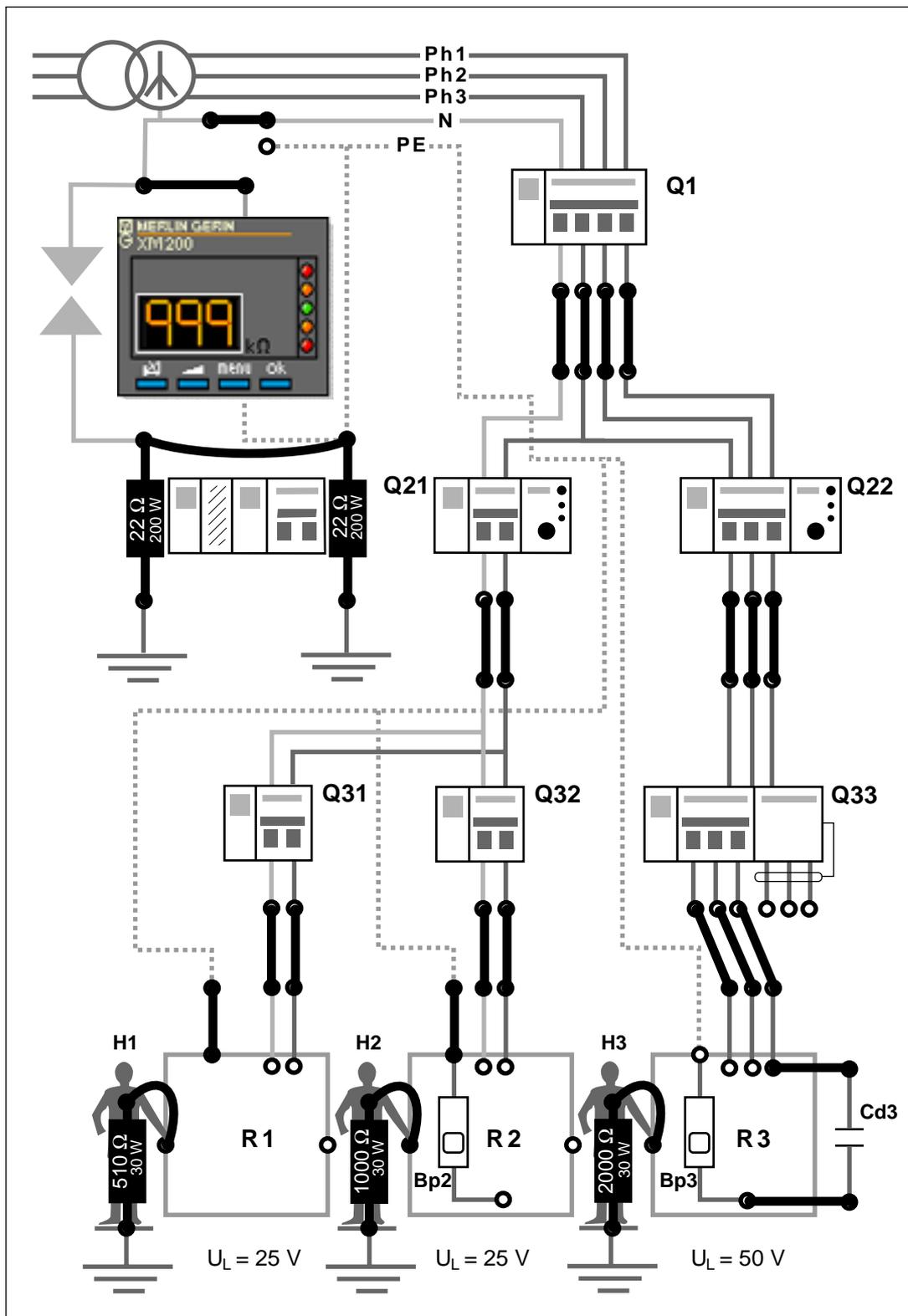
- 3 - Vérifier les réglages du CPI : S_p (= 10 k Ω), S_a (= 2 k Ω) et T (= 15 sec). Fermer Q1 à Q33.
- 4 - Créer un défaut franc permanent sur la phase Ph1 dans le récepteur R2, en court-circuitant Bp2 :
 - 4.1) les signalisations lumineuse et sonore fonctionnent,
 - 4.2) acquitter les signalisations par le bouton "Arrêt klaxon" du CPI,
 - 4.3) le détecteur XD301 associé à Q21 signale le défaut sur ce départ.
- 5 - Créer un deuxième défaut franc dans R3 (utiliser la phase la plus à droite, Ph3) en appuyant sur Bp3 : les disjoncteurs Q32 et Q33 déclenchent, leurs circuits de protection magnétique étant sollicités par le courant de défaut.

Conclusion

Les départs ont des longueurs de câbles suffisamment courtes pour que les déclencheurs magnétiques puissent intervenir et satisfaire à la protection des personnes.

2.3.8
Régime IT
Manipulation 8

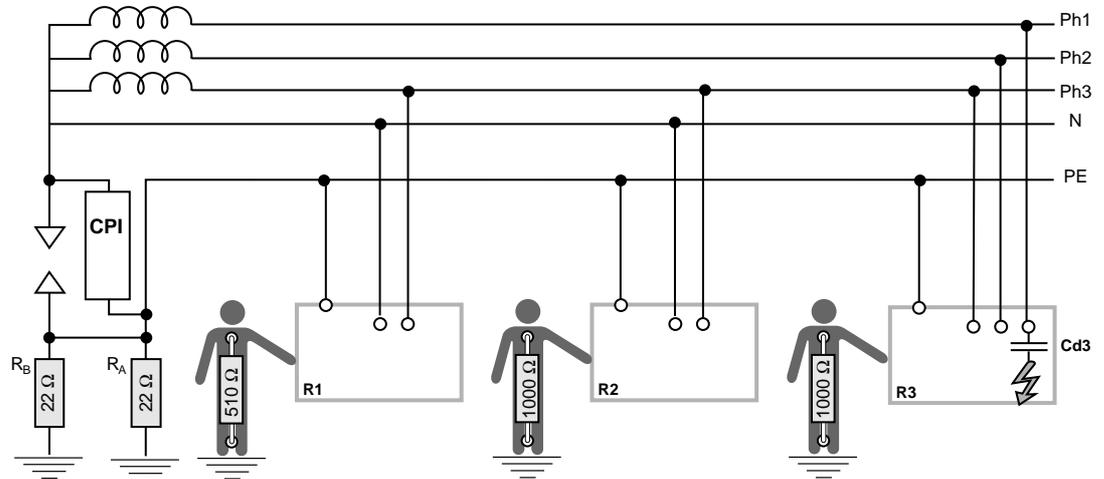
Défaut simple : prise en compte des transitions provoquant un défaut fuyatif.



Régime IT
planche 8

IT - 8

- 1 - Ouvrir tous les disjoncteurs (Q1 à Q33).
- 2 - Réaliser le montage correspondant à la planche 8. Schéma équivalent :



- 3 - Modifier les réglages du CPI avec les nouvelles valeurs suivantes :
 $Sp = 40 \text{ k}\Omega$, $Sa = 20 \text{ k}$, $T = 0 \text{ sec}$.

- 4 - Fermer Q1 à Q33.

- 5 - Créer un défaut fugitif dans R3 en appuyant sur Bp3 **pendant 10 secondes environ**, puis relâcher Bp3 :

5.1) les signalisations sonore et lumineuse fonctionnent. La valeur de la résistance équivalente de défaut due à la capacité Cd3 est très petite (défaut $< Sa$), puis remonte pendant la charge de Cd3 et se stabilise, à charge terminée, à une valeur élevée (défaut $> Sp$) due au courant de fuite du condensateur Cd3.

5.2) dès relâchement de Bp3, le CPI revient à la mesure d'un isolement correct, mais a mémorisé le défaut fugitif.

Conclusion

Lors de démarrage de machines à circuits magnétiques (principalement les moteurs), de circuits comportant des constituants électroniques de puissance ou des condensateurs de compensation d'énergie, le réseau de distribution subit des forts déséquilibres de courant pendant les phases transitoires, qui sont vus par le CPI comme des défauts d'isolement. Ces défauts peuvent être "masqués" par le réglage de la valeur de temporisation du CPI XM200.

Nota :

Après chaque essai avec Cd3, il faut décharger le condensateur :

- mettre l'installation hors tension (ouvrir les disjoncteurs Q1 à Q33),
- raccorder aux bornes de Cd3 une résistance de 270Ω pendant 30 secondes,
- débrancher la résistance et remettre l'installation en service.

Régime IT : Autres exemples de manipulations possibles

- parasurtenseur en court-circuit,
- défaut sur le conducteur neutre,
- simuler une installation réelle en plaçant en parallèle au CPI une impédance de réseau (l'impédance équivalant à un réseau triphasé 50 Hz de 1 km de long est de 3540 Ω),
- cas des masses éloignées non interconnectées avec les autres masses,
- sélectivités ampèremétriques,
- avec un oscilloscope numérique enregistrer la valeur de U_c et le temps de coupure lors d'un défaut et vérifier que ce temps reste bien inférieur à la valeur fixée par les normes pour la tension du réseau (230 V) et les conditions d'exploitation.

Pour mémoire, la norme en vigueur **NFC 15-100** donne les valeurs des durées **maximales** de maintien de la tension de contact :

Régime IT pour $U_L = 50V$:

Tension nominale U_0 (volts) / U (volts)	Temps de coupure (secondes)	
	neutre non distribué	neutre distribué
120 - 240 - 127/220	0,8	5
220/380 - 230/400	0,4	0,8
400/690	0,2	0,4
580/1000	0,1	0,2

Tableau 41B § 413.1.3.6

Régime IT pour $U_L = 25V$:

Tension nominale U_0 (volts) / U (volts)	Temps de coupure (secondes)	
	neutre non distribué	neutre distribué
127/220	0,4	1
220/380 - 230/400	0,2	0,5
400/690	0,06	0,2
580/1000	0,02	0,08

Tableau 48A § 481.3

U_0 : tension entre phase et neutre

U : tension entre phases

3

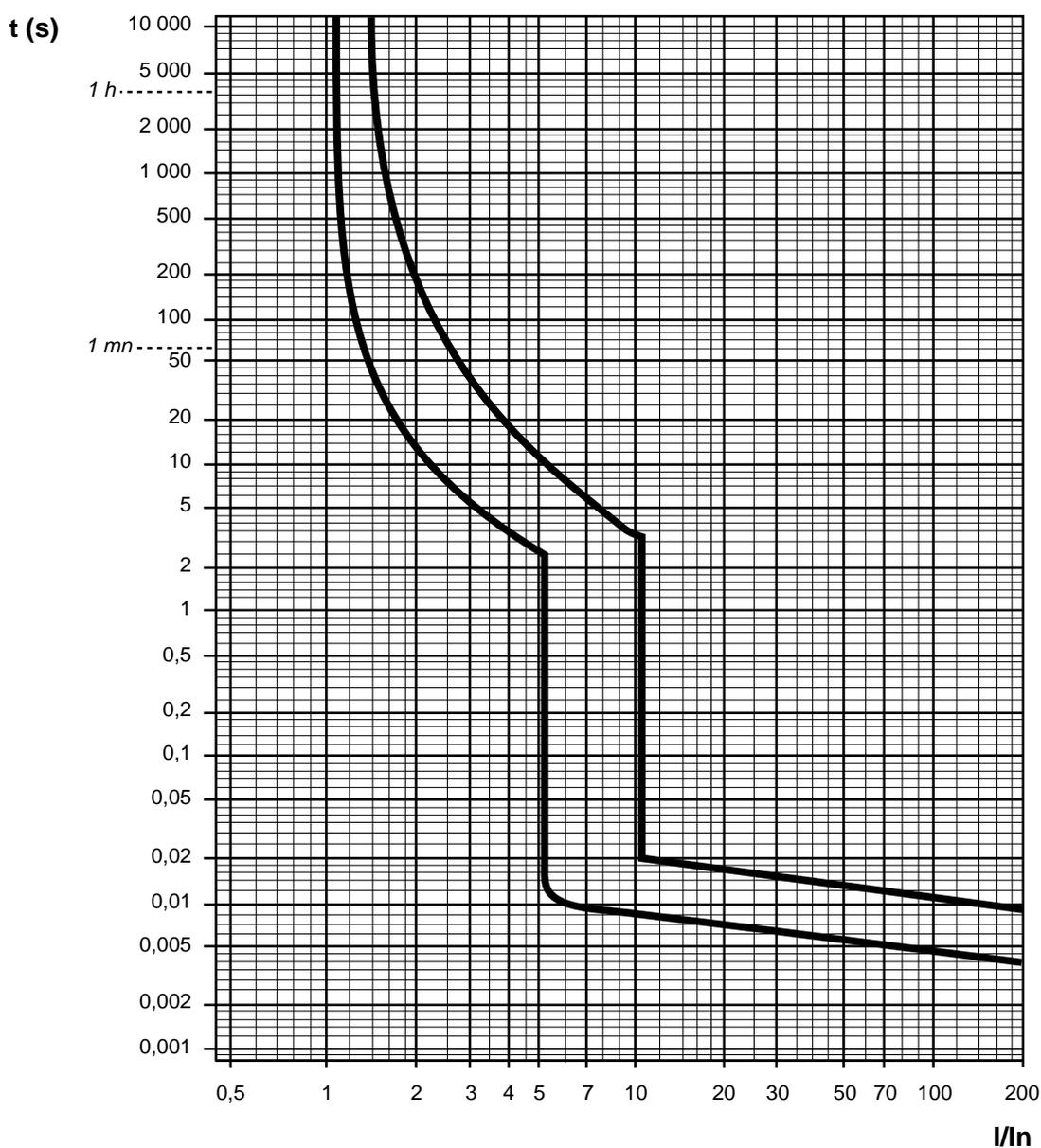
Chapitre

Annexe

Sommaire	Page
3.1 Courbe de déclenchement des disjoncteurs	74
3.2 Rappel de la norme NF C15-100 (temps de coupure)	75
3.3 Cahier Technique Schneider n°172	
3.4 Cahier Technique Schneider n°173	
3.5 Cahier Technique Schneider n°177	

3.1 - Courbes de déclenchement des disjoncteurs

C60 N - courbe C



3.2 - Rappel de la norme NF C15-100 (temps de coupure)

En fonction du régime du neutre (TT, TN ou IT), de la tension nominale du réseau et de la tension limite conventionnelle du local ($U_L = 25 \text{ V}$ ou 50 V), la norme NF C15-100 fixe des valeurs limites, pour les temps de coupure, à ne pas dépasser.

REGIME TT : L'UTE (Union Technique de l'Electricité) considère que les DDR non temporisés assurent, dans un temps satisfaisant, la protection des personnes contre les contacts indirects à condition que leur seuil soit :

$$I\Delta n \leq \frac{U_L}{R_A}$$

REGIMES TN et IT : Les tableaux 48A - 41A et 41B de la norme NFC 15-100 fixent les temps de coupure (en secondes) à ne pas dépasser

Tensions nominales U_0 / U	$U_L = 25 \text{ V}$			$U_L = 50 \text{ V}$		
	Rég. TN <small>tableau 48A</small>	Rég. IT <small>tableau 48A</small>		Rég. TN <small>tableau 41A</small>	Rég. IT <small>tableau 41B</small>	
		sans neutre	avec neutre		sans neutre	avec neutre
127 / 220	0,35	0,4	1	0,8	0,8	5
230 / 400	0,2	0,2	0,5	0,4	0,4	0,8
400 / 690	0,05	0,06	0,2	0,2	0,2	0,4
580 / 100	0,02	0,02	0,08	0,1	0,1	0,2

U_0 = tension du réseau entre phase et neutre

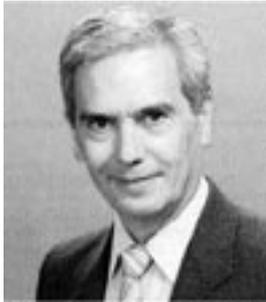
U = tension du réseau entre phase

U_L = tension limite conventionnelle



Bernard Lacroix

Ingénieur ESPCI 74 (Ecole Supérieure de Physique et Chimie Industrielle de Paris), il a travaillé 5 ans chez Jeumont Schneider où il a participé, entre autre, au développement du variateur de vitesse à hacheur du TGV. Entré chez Merlin Gerin en 1981, il a été successivement technico-commercial dans l'activité onduleur, puis responsable commercial de l'activité protection des personnes. Depuis 1991, il est en charge de la prescription dans le domaine de la distribution BT de Puissance.



Roland Calvas

Ingénieur ENSERG 1964 (Ecole Nationale Supérieure d'Electronique et Radioélectricité de Grenoble) et diplômé de l'Institut d'Administration des Entreprises, il est entré chez Merlin Gerin en 1966. Lors de son parcours professionnel, il a été responsable commercial, puis responsable marketing de l'activité protection des personnes. Il est aujourd'hui en charge de la communication technique du groupe Schneider.



n° 172

les schémas des liaisons à la terre en BT (régimes du neutre)

lexique

CEM	Compatibilité Electro Magnétique
CPI	Contrôleur Permanent d'Isolement
CR	protection Court Retard, (protection contre les surintensités de court-circuit par disjoncteur avec déclencheur rapide)
DDR	Dispositif Différentiel Résiduel
DLD	Détecteur Localisation de Défaut
DPCC	Dispositif de Protection contre les Courts-Circuits (disjoncteurs ou fusibles)
Electrisation	application d'une tension entre deux parties du corps
Electrocution	électrisation qui provoque la mort
GTB	Gestion Technique des Bâtiments
GTE	Gestion Technique de la distribution d'Energie électrique
IDn	seuil de fonctionnement d'un DDR
U_L	tension limite conventionnelle (tension de contact maximale admissible) dite de sécurité
MT/HTA	Moyenne Tension : 1 à 35 kV selon le CENELEC (circulaire du 27.07.92) Haute Tension de classe A : 1 à 50 kV selon le décret français du 14.11.88

les schémas des liaisons à la terre en BT (régimes du neutre)

sommaire

1. Introduction	Evolution des besoins	p. 4
	Causes des défauts d'isolement	p. 4
	Risques liés au défaut d'isolement	p. 4
2. Les SLT et la protection des personnes		p. 7
	Mise au neutre ou schéma TN	p. 8
	Neutre à la terre ou schéma TT	p. 8
	Neutre isolé ou impédant, ou schéma IT	p. 9
3. Les SLT et les risques d'incendie et de non disponibilité de l'énergie	Risque d'incendie	p. 12
	Risque de non disponibilité de l'énergie	p. 12
4. Influences de la MT sur la BT, selon les SLT	La foudre	p. 14
	Les surtensions de manœuvre	p. 14
	Un claquage MT-masse interne au transformateur	p. 14
	Un claquage MT-BT interne au transformateur	p. 15
5. Appareillages liés au choix du SLT	SLT -TN- "Mise au neutre"	p. 17
	SLT -TT- "Neutre à la terre"	p. 17
	SLT -IT- "Neutre isolé de la terre"	p. 18
	Protection du neutre selon SLT	p. 19
6. Choix du SLT et conclusion	Méthodologie pour choisir le SLT	p. 21
	Conclusion	p. 21
7. Bibliographie		p. 22

Ce Cahier Technique rappelle les risques, liés aux défauts d'isolement, pour la sécurité des personnes et des biens. Il met l'accent sur l'influence du Schéma des Liaisons à la Terre -SLT- sur la disponibilité de l'énergie électrique.

Il présente les trois SLT définis par la norme CEI 364 et employés à des degrés différents dans tous les pays. Chaque SLT, encore appelé "régime du neutre" est examiné en terme de **sûreté** (sécurité, maintenabilité et disponibilité).

Il n'y a pas de mauvais SLT, tous assurent la sécurité des personnes. Ils ont chacun des avantages et des inconvénients et c'est l'expression du besoin qui doit guider le choix, hors prescription ou interdiction normative ou législative.

Le lecteur intéressé par les pratiques des différents pays et l'évolution des SLT est invité à lire le Cahier Technique n° 173.

1. introduction

évolution des besoins

Aujourd'hui les 3 SLT, longtemps appelés régimes du neutre tels que définis par la CEI 364 et la norme NF C 15-100, sont :

- la mise au neutre -TN- ;
- le neutre à la terre -TT- ;
- le neutre isolé (ou impédant) -IT-.

Ces trois schémas ont une même finalité en terme de protection des personnes et des biens : la maîtrise des effets des défauts d'isolement. Ils sont considérés comme équivalents sur le plan de la sécurité des personnes contre les contacts indirects.

Il n'en n'est pas nécessairement de même pour la sûreté de l'installation électrique BT en ce qui concerne :

- la disponibilité de l'énergie ;
- la maintenance de l'installation.

Ces grandeurs, chiffrables, font l'objet d'exigences de plus en plus fortes dans les usines et les immeubles tertiaires.

Par ailleurs, les systèmes de contrôle-commande des bâtiments -GTB- et de gestion de la distribution d'énergie électrique -GTE- jouent un rôle de plus en plus important au niveau de la gestion et de la sûreté.

Cette évolution du besoin de sûreté n'est donc pas sans effet sur le choix du SLT.

Il faut rappeler que les considérations de continuité de service (garder un réseau sain en distribution publique en déconnectant les abonnés avec un défaut d'isolement) ont joué un rôle lors de l'émergence des SLT.

causes des défauts d'isolement

Pour assurer la protection des personnes et la continuité d'exploitation, les conducteurs et les pièces sous tension d'une installation électrique sont "isolées" par rapport aux masses reliées à la terre.

L'isolement est réalisé par :

- l'utilisation de matériaux isolants ;
- l'éloignement qui nécessite des distances d'isolement dans les gaz (par exemple dans l'air) et des lignes de

fuite (concernant l'appareillage, par exemple chemin de contournement d'un isolateur).

Un isolement est caractérisé par des tensions spécifiées qui, conformément aux normes, sont appliquées aux produits et aux équipements neufs :

- tension d'isolement (plus grande tension du réseau) ;
 - tension de tenue au choc de foudre (onde 1,2 ; 50 μ s) ;
 - tension de tenue à la fréquence industrielle ($2 U + 1\ 000$ V/1mn).
- Exemple pour un tableau BT de type PRISMA :

- tension d'isolement : 1 000 V ;
- tension de choc : 12 kV.

Lors de la mise en service d'une installation neuve, réalisée selon les règles de l'art avec des produits fabriqués selon les normes, le risque de défaut d'isolement est très faible ; l'installation vieillissant, ce risque augmente.

En effet, celle-ci est l'objet de diverses agressions qui sont à l'origine de défauts d'isolement, citons à titre d'exemple :

- durant l'installation :
 - la détérioration mécanique de l'isolant d'un câble ;
- pendant l'exploitation :
 - les poussières plus ou moins conductrices,
 - le vieillissement thermique des isolants dû à une température excessive ayant pour causes :
 - le climat,
 - un nombre de câbles trop important dans un conduit,
 - une armoire mal ventilée,
 - les harmoniques,
 - les surintensités...
 - les forces électrodynamiques développées lors d'un court-circuit qui peuvent blesser un câble ou diminuer une distance d'isolement,
 - les surtensions de manœuvre, de foudre,
 - les surtensions 50 Hz en retour résultant d'un défaut d'isolement en MT.

C'est généralement une combinaison de ces causes primaires qui conduit au défaut d'isolement. Celui-ci 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, ou homopolaire (MT)- 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 dont l'occurrence la plus forte se situe au niveau des récepteurs et des câbles.

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, tout ceci relevant de la sûreté.

Risque d'électrisation des personnes

Une personne (ou un animal) soumise à une tension électrique est électrisée. Selon l'importance de l'électrisation cette personne peut subir :

- une gêne ;
- une contraction musculaire ;
- une brûlure ;
- un arrêt cardiaque (c'est l'électrocution) (cf. fig. 1).

Protéger l'homme des effets dangereux du courant électrique est prioritaire, le risque d'électrisation est donc le premier à prendre en compte.

C'est le courant I -en valeur et en durée-, traversant le corps humain (en particulier le cœur), qui est dangereux. En BT la valeur de l'impédance du corps, (dont une composante importante est la résistance de la peau), n'évolue pratiquement qu'en fonction de l'environnement (locaux secs et humides, et locaux mouillés). Pour chacun des cas, une tension de sécurité (tension de contact maximale admissible pendant au moins 5 s) a été

définie ; elle est appelée tension limite conventionnelle U_L dans la CEI 479. La CEI 364 § 413.1.1.1 et la NF C 15-100 précisent que si la tension de contact (U_c) risque de dépasser la tension U_L , la durée d'application de la tension de défaut doit être limitée par l'intervention des dispositifs de protection (cf. fig. 2).

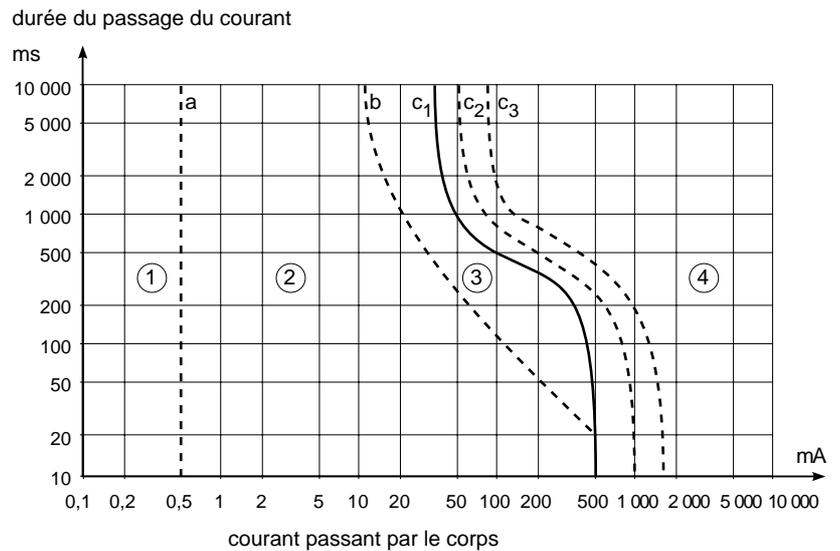
Risque d'incendie

Ce risque, lorsqu'il se matérialise, peut avoir des conséquences dramatiques pour les personnes et les biens. 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

La maîtrise de ce risque prend de plus en plus d'importance. En effet si, pour éliminer le défaut, la partie en défaut est déconnectée automatiquement, il en résulte :

- un risque pour les personnes, par exemple :
 - manque subit d'éclairage,
 - mise hors service d'équipements utiles à la sécurité ;
- un risque économique du fait de la perte de production. Ce risque doit être particulièrement maîtrisé dans les industries à process pour lesquelles le redémarrage peut être long et coûteux. 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, surtout si ceux-ci font partie d'un système "courants faibles" géographiquement réparti avec des liaisons galvaniques. Enfin, à la mise hors tension, l'apparition de surtensions et/ou de phénomènes de rayonnement électromagnétique peuvent entraîner des dysfonctionnements, voire des dégradations d'équipements sensibles.



- zone 1 : perception
- zone 2 : forte gêne
- zone 3 : contractions musculaires
- zone 4 : risque de fibrillation ventriculaire (arrêt cardiaque)
- C_1 : probabilité 5 %
- C_3 : probabilité > 50 %

fig. 1 : zones temps/courant des effets du courant alternatif (15 Hz à 100 Hz) sur les personnes selon CEI 479-1.

■ locaux ou emplacements secs ou humides : $U_L \leq 50$ V

tension de contact présumée (V)	temps de coupure maximal du dispositif de protection (s)	
	courant alternatif	courant continu
< 50	5	5
50	5	5
75	0,60	5
90	0,45	5
120	0,34	5
150	0,27	1
220	0,17	0,40
280	0,12	0,30
350	0,08	0,20
500	0,04	0,10

■ locaux ou emplacements mouillés : $U_L \leq 25$ V

tension de contact présumée (V)	temps de coupure maximal du dispositif de protection (s)	
	courant alternatif (a)	courant continu (b)
25	5	5
50	0,48	5
75	0,30	2
90	0,25	0,80
110	0,18	0,50
150	0,10	0,25
220	0,05	0,06
280	0,02	0,02

fig. 2 : durée maximale de maintien de la tension de contact selon norme CEI 364.

Contacts direct et indirect

Avant de commencer l'étude des SLT, il est utile de faire un rappel sur l'électrification par contacts direct et indirect.

■ 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 (cf. fig. 3a).

Dans le cas où le risque est très important, la solution triviale consiste à distribuer l'électricité sous une tension non dangereuse, c'est-à-dire \leq à la tension de sécurité. C'est l'emploi de la très basse tension de sécurité (TBTS ou TBTP). En BT (230/400 V).

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

Nota : 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 14.11.88 et la norme NF C 15-100 § 532-2-6 rend obligatoire cette mesure au niveau :

- des prises de courant de calibre \leq 32 A,
- dans certains types d'installations (temporaire, de chantier...).

Le traitement de la protection contre les contacts directs est totalement indépendant du SLT.

■ 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 (cf. fig. 3b). 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 U_L . Vis-à-vis de ce risque, les normes

d'installation -CEI 364 au niveau international, NF C 15-100 au niveau français- (ces normes étant similaires dans le fond et la forme), ont officialisé trois Schémas des Liaisons à la Terre -SLT- 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 équipements électriques

pour éviter qu'un défaut d'isolement ne conduise à l'équivalent d'un contact direct ;

■ l'équipotentialité des masses simultanément accessibles

L'interconnexion de ces masses contribue efficacement à la réduction de la tension de contact. Elle se fait par le conducteur de protection (PE) qui relie les masses des matériels électriques pour l'ensemble d'un bâtiment, éventuellement complétée de liaisons équipotentialités supplémentaires (cf. fig. 4).

Rappel : l'équipotentialité ne peut être totale en tous lieux, (notamment dans les locaux à un seul niveau), aussi pour l'étude des SLT et des protections associées, l'hypothèse retenue par les normalisateurs $U_c = U_d$ est appliquée car U_d est au plus égale à U_d .

□ U_d = tension, dite de défaut, par rapport à la terre profonde, de la masse d'un appareil électrique ayant un défaut d'isolement,

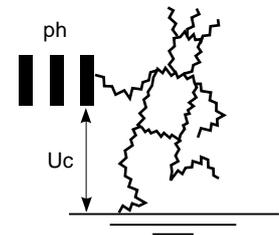
□ U_c = tension de contact dépendant du potentiel U_d et de la référence de potentiel de la personne exposée au risque, généralement le sol.

■ la gestion du risque électrique :

□ cette gestion est optimisée par la **prévention**. Par exemple, en mesurant l'isolement d'un équipement avant sa mise sous tension, ou par la prédiction de défaut basée sur le suivi sous tension de l'évolution de l'isolement d'une installation isolée de la terre (schéma IT),

□ si le défaut d'isolement se produit et génère une tension de défaut dangereuse, il faut l'éliminer par déconnexion automatique de la partie de l'installation où s'est produit le défaut. La façon de supprimer le risque dépend alors du SLT.

a) contact direct



b) contact indirect

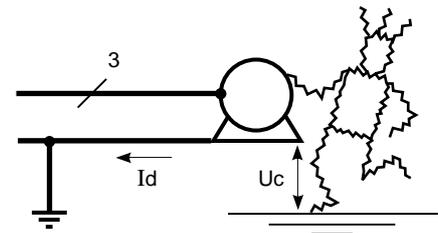


fig. 3 : contacts directs et indirects.

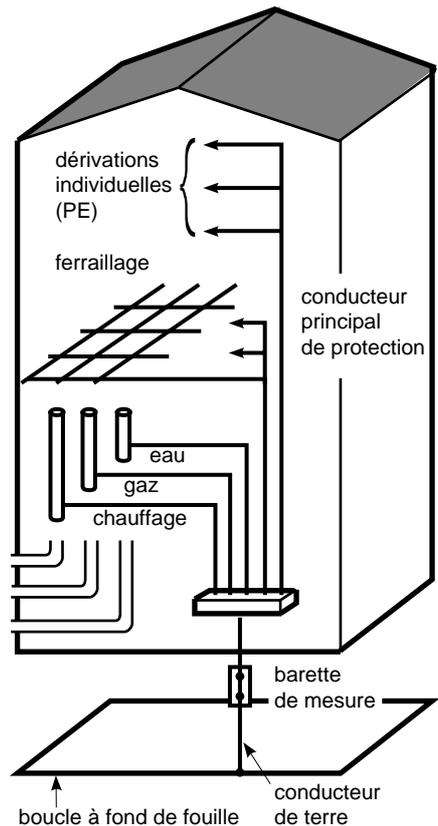


fig. 4 : équipotentialité dans un immeuble.

2. les SLT et la protection des personnes

Les risques d'électrisation, voire d'électrocution sont, dans ce chapitre, précisés pour les différents schémas des liaisons à la terre, tels que définis par le Comité Électrotechnique International dans la norme CEI 364. Le SLT en BT caractérise le mode de raccordement à la terre du secondaire du transformateur MT/BT et les manières de mettre à la terre les masses de l'installation.

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

■ la première pour le raccordement du neutre du transformateur (2 cas possibles) :

□ T pour "raccordé" à la terre,
□ I pour "isolé" de la terre ;

■ la deuxième pour le type de raccordement des masses d'utilisation (2 cas possibles) :

□ T pour "raccordé directement" à la terre,

□ N pour "raccordé au neutre" à l'origine de l'installation, lequel est raccordé à la terre (cf. fig. 5).

La combinaison de ces deux lettres donne trois configurations possibles :

neutre du transformateur **masse**

■ si T → T ou N,

■ si I → T

soit TT, TN et IT.

Nota 1 :

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

■ TN-C : si les conducteurs du neutre N et du PE sont confondus (PEN) ;

■ TN-S : si les conducteurs du neutre N et du PE sont distincts ;

■ TN-C-S : utilisation d'un TN-S en aval d'un TN-C, (l'inverse est interdit).

A noter que le TN-S est obligatoire pour les réseaux ayant des conducteurs de section $\leq 10 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$.

Nota 2 :

Chaque SLT peut s'appliquer à l'ensemble d'une installation

électrique BT ; mais plusieurs SLT peuvent coexister dans une même installation, voir à titre d'exemple la figure 6.

Nota 3 :

En France, selon la norme NF C 13-100 concernant les postes de livraison, pour appréhender les risques

ayant leur origine en MT, le SLT en BT s'exprime à l'aide d'une lettre supplémentaire suivant l'interconnexion des différentes prises de terre (cf. fig. 7).

Examinons maintenant comment réaliser dans chacun des cas la protection des personnes.

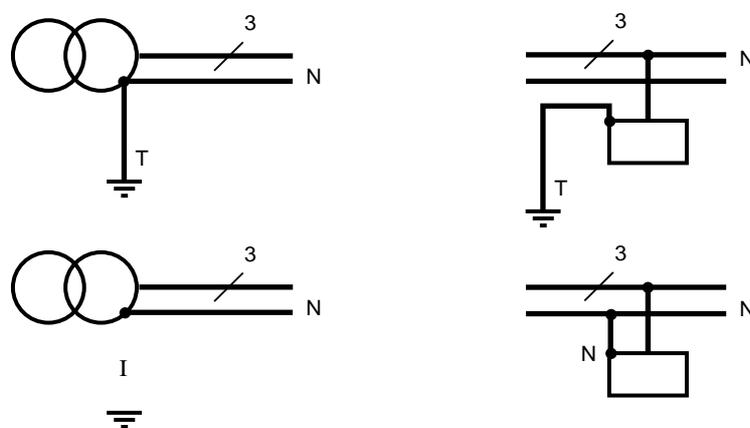


fig. 5 : mode de raccordement, à la terre du neutre du transformateur, et des masses des récepteurs électriques.

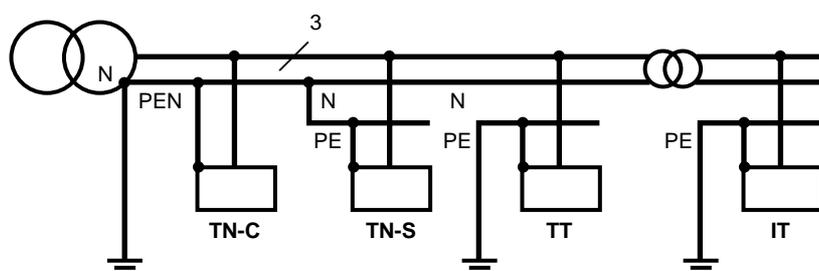


fig. 6 : exemple de coexistence entre les divers SLT.

lettre supplémentaire	terre du poste MT/BT	terre du neutre BT	terre des masses d'utilisation BT
R (reliées)	■	■	■
N (du neutre)	■	■	□
S (séparée)	□	□	□

(■ = interconnectée, □ = indépendante)

fig. 7 : liaison des prises de terre BT avec celle du poste MT/BT.

mise au neutre ou schéma TN

En présence d'un défaut d'isolement, le courant de défaut I_d n'est limité que par l'impédance des câbles de la boucle de défaut (cf. fig. 8) :

$$I_d = \frac{U_0}{R_{ph1} + R_d + R_{PE}}$$

Pour un départ et dès que $R_d \approx 0$:

$$I_d = \frac{0,8 U_0}{R_{ph1} + R_{PE}}$$

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

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

$$U_d = R_{PE} \cdot I_d$$

soit :

$$U_d = 0,8 U_0 \frac{R_{PE}}{R_{ph1} + R_{PE}}$$

Pour les réseaux 230/400 V, cette tension de l'ordre de $U_0/2$ (si $R_{PE} = R_{ph}$) est dangereuse car supérieure à la tension limite de sécurité, même en milieu sec ($U_L = 50$ V). Il est alors nécessaire d'assurer une mise hors tension automatique et immédiate de l'installation ou de la partie de l'installation (cf. fig. 9).

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

Mise en œuvre

Pour être sûr que la protection est bien active il faut, quel que soit le lieu du défaut, que le courant I_d soit supérieur au seuil de fonctionnement de la protection I_a ($I_d > I_a$). Cette condition doit être vérifiée lors de la conception de l'installation par le calcul des courants de défaut, ceci pour tous les circuits de la distribution.

Un même parcours du conducteur de protection -PE- et des conducteurs actifs facilite ce calcul et est recommandé par la norme (NF C 15-100 § 544-1).

Pour garantir cette condition, une autre approche consiste à imposer une valeur maximale d'impédance aux boucles de défaut en fonction du type et du calibre des DPCC choisis (cf. la norme anglaise BS 7671). Une telle démarche peut conduire à augmenter la section des conducteurs actifs et/ou de protection.

Une autre façon de vérifier que le DPCC assurera la protection des personnes est de calculer la longueur maximale que chaque départ ne devra pas dépasser pour un seuil de protection I_a donné.

Pour calculer I_d et L_{max} , trois méthodes simples peuvent être utilisées (voir Cahier Technique n° 158 ou le guide NF C 15-105) :

- la méthode des impédances ;
 - la méthode de composition ;
 - la méthode conventionnelle (guide NF C 15-105, partie C).
- Cette dernière donne l'équation :

$$I_d = \frac{0,8 U_0}{Z} = \frac{0,8 U_0}{R_{ph} + R_{PE}}$$

$$= \frac{0,8 U_0 \cdot S_{ph}}{\rho \cdot (1 + m) L}$$

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

ayant pour seuil I_a :

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

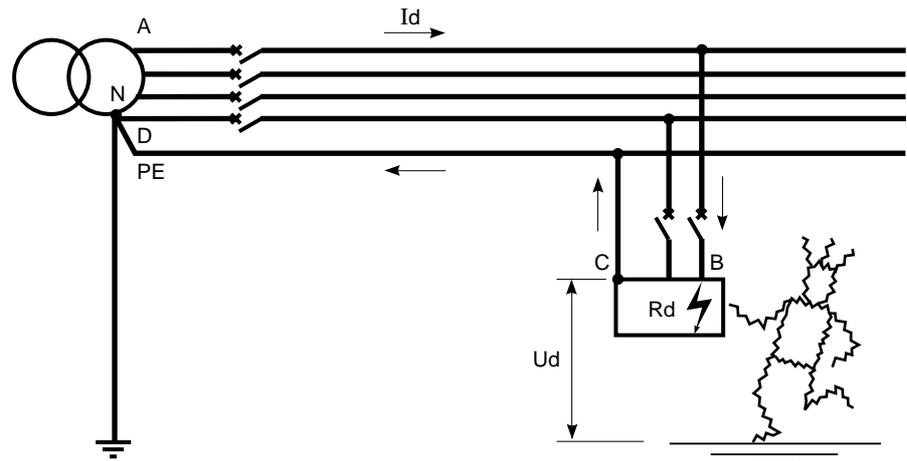
- L_{max} : longueur maximale en m ;
- U_0 : tension simple 230 V pour un réseau triphasé 400 V ;
- ρ : résistivité à la température de fonctionnement normal ;
- I_a : courant de coupure automatique :
 - pour un disjoncteur $I_a = I_m$ (I_m courant de fonctionnement du déclencheur magnétique ou court-retard),
 - pour un fusible, courant tel que le temps total de coupure du fusible (temps de préarc + temps d'arc) soit conforme à la norme (cf. fig. 9),

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

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

neutre à la terre ou schéma TT

En présence d'un défaut d'isolement, le courant de défaut I_d (cf. fig. 10), est essentiellement limité par les résistances de terre (si la prise de terre



$$U_d \approx \frac{0,8 U_0}{2} \text{ si } R_{PE} = R_{ph} \text{ et } R_d = 0$$

$$I_d = \frac{U_0}{R_{AB} + R_d + R_{CD}} \Rightarrow \frac{0,8 U_0}{R_{ph} + R_{PE}}$$

fig. 8 : courant et tension de défaut en schéma TN.

des masses et la prise de terre du neutre ne sont pas confondues).
Toujours avec l'hypothèse $R_d = 0$, le courant de défaut est :

$$I_d \approx \frac{U_o}{R_a + R_b}$$

Ce courant de défaut induit une tension de défaut dans la résistance de terre des utilisations :

$$U_d = R_a \cdot I_d, \text{ ou } U_d = \frac{U_o \cdot R_a}{R_a + R_b}$$

Les résistances de terre étant généralement faibles et de même ordre de grandeur ($\approx 10 \Omega$), cette tension de l'ordre de $U_o/2$ est dangereuse ; il est donc obligatoire de prévoir une déconnexion automatique de la partie de l'installation concernée par le défaut (cf. fig. 11).

Mise en œuvre

Le courant de défaut au delà duquel il y a risque ($I_{d0} = \frac{U_L}{R_a}$) étant très

largement inférieur aux réglages des dispositifs de protection à maximum de courant, il est nécessaire de mettre en œuvre, en tête d'installation, au moins un DDR. Pour améliorer la disponibilité de l'énergie électrique, l'emploi de plusieurs DDR permet de réaliser une sélectivité ampèremétrique et chronométrique au déclenchement. Tous ces DDR auront un seuil de courant assigné $I_{\Delta n}$ inférieur à I_{d0} . La mise hors tension, par intervention des DDR, doit se faire d'après la norme en moins de 1 s, (ce temps peut atteindre 5 s dans le cas où R_a et R_b sont interconnectés).

A noter que la protection par DDR :

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

Le Cahier Technique n° 114 traite en détail de la technologie et de l'emploi des DDR.

neutre isolé ou impédant, ou schéma IT

Le neutre est isolé, non relié à la terre. Les prises de terre des masses sont normalement interconnectées (comme pour le SLT TN ou TT).

■ en fonctionnement normal (sans défaut d'isolement) le réseau est mis à la terre par l'impédance de fuite du réseau.

Pour mémoire, l'impédance naturelle de fuite à la terre d'un câble triphasé, de longueur 1 km, est caractérisée par les valeurs typiques :

- $C = 1 \mu F / km$,
- $R = 1 M\Omega / km$,
- qui donnent (en 50 Hz) :
- $Z_{cf} = 1 / j \cdot C \cdot \omega = 3 200 \Omega$,
- $Z_{rf} = R_f = 1 M\Omega$,
- donc $Z_f \approx Z_{cf} = 3 200 \Omega$.

Pour bien fixer le potentiel d'un réseau en IT par rapport à la terre, il est conseillé, surtout s'il est court, de placer une impédance ($Z_n \approx 1 500 \Omega$) entre le neutre du transformateur et la terre... c'est le schéma IT dit à neutre impédant.

■ comportement au premier défaut

□ neutre isolé :

Le courant de défaut s'établit comme suit (valeur maximale en cas de défaut franc et neutre non distribué).

$I_f = I_{c1} + I_{c2}$, avec :

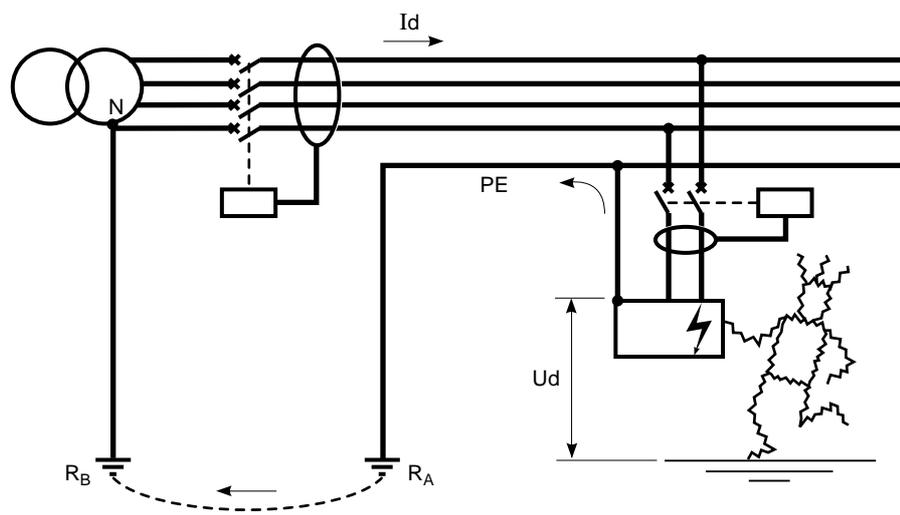
$$I_{c1} = j \cdot C_f \cdot \omega \cdot V_{1,3} \text{ et}$$

$$I_{c2} = j \cdot C_f \cdot \omega \cdot V_{2,3}, \text{ d'où :}$$

$$I_d = U_o \cdot 3 C_f \cdot \omega$$

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

fig. 9 : temps de coupure en schéma TN (cf. CEI 364 et NF C 15-100, tableaux 41 A et 48 A).



$$I_d = \frac{U_o}{R_A + R_B} \quad U_d = U_o \frac{R_A}{R_A + R_B}$$

fig. 10 : courant et tension de défaut en schéma TT.

$$I_{\Delta n} \leq \frac{U_L}{R_A} \text{ résistance maximale de la prise de terre } R_A$$

U_L	50 V	25 V
3 A	16 Ω	8 Ω
1 A	50 Ω	25 Ω
500 mA	100 Ω	50 Ω
300 mA	166 Ω	83 Ω
30 mA	1660 Ω	833 Ω

fig. 11 : limite supérieure de la résistance de la prise de terre des masses à ne pas dépasser en fonction de la sensibilité des DDR et de la tension limite U_L , [$I_{\Delta n} = f(R_a)$].

Pour 1 km de réseau 230/400 V, la tension de défaut sera égale à :
 $U_c = R_b \cdot I_d$, soit 0,7 V si $R_b = 10 \Omega$.
 Cette tension est non dangereuse, donc l'installation peut être maintenue en service.

Si le neutre est distribué, le décalage du potentiel du neutre par rapport à la terre rajoute un courant $I_{cN} = U_o \cdot C_f \cdot \omega$ et $I_d = U_o \cdot 4 \cdot C_f \cdot \omega$ (cf. fig. 12).

□ neutre impédant :

Courant de premier défaut :

$$I_d = \frac{U}{Z_{\text{éq}}}$$

$$\frac{1}{Z_{\text{éq}}} = \frac{1}{Z_n} + 3j \cdot C_f \cdot \omega$$

La tension de défaut correspondante reste faible et non dangereuse, l'installation peut être maintenue en service.

Continuer l'exploitation, sans danger, est fort intéressant, mais il faut :

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

Pour répondre à cette attente :

- l'information défaut est donnée par un Contrôleur Permanent d'Isolément (CPI) qui surveille tous les conducteurs actifs, y compris le neutre (il est obligatoire selon la norme NF C 15-100),
- la recherche est réalisée à l'aide de localisateurs de défaut.

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

- le défaut concerne le même conducteur actif : rien ne se passe et l'exploitation peut continuer,
- le défaut concerne deux conducteurs actifs différents : si toutes les masses sont interconnectées, le défaut double est un court-circuit (via le PE).

Le risque d'électrisation est similaire à celui rencontré avec le SLT TN. Les conditions les plus défavorables pour les DPCC (I_d le plus faible) sont obtenues dans le cas où les deux défauts se produisent sur des départs ayant les mêmes caractéristiques (sections-longueurs) (cf. fig. 13).

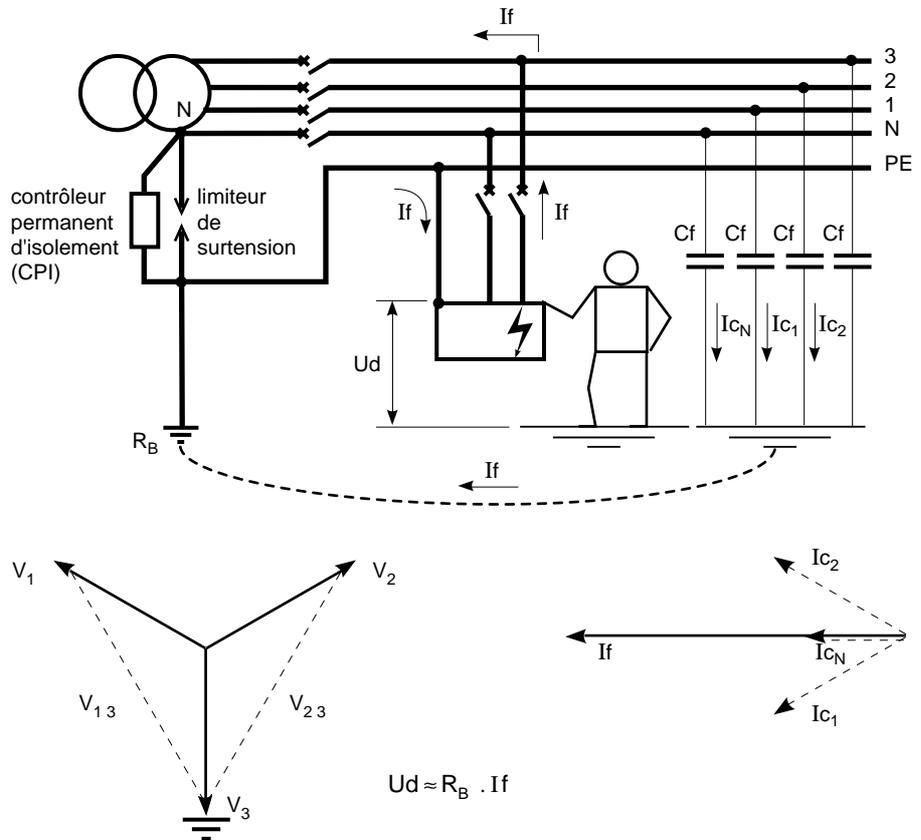


fig. 12 : courant de premier défaut d'isolement en schéma IT.

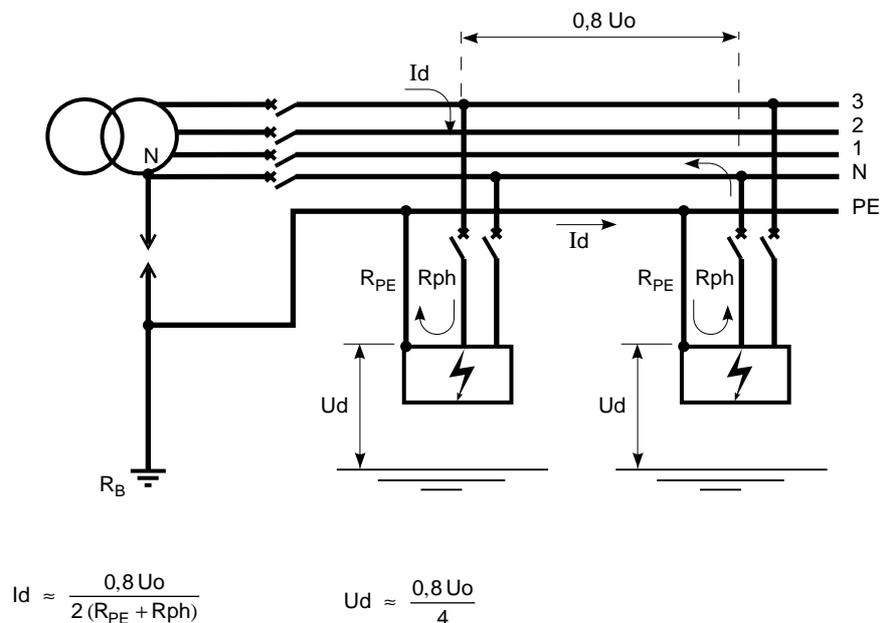


fig. 13 : courant de 2^{ème} défaut en schéma IT (neutre distribué) et départs concernés de même section et même longueur.

Les DPCC doivent respecter les relations :

- si le neutre est distribué, l'un des deux conducteurs en défaut étant le neutre :

$$I_a \leq \frac{0,8 U_0}{2 Z}$$

- ou si le neutre n'est pas distribué :

$$I_a \leq \frac{0,8 U_0 \cdot \sqrt{3}}{2 Z}$$

A noter que dans le cas où l'un des deux défauts est sur le neutre, le courant de défaut et la tension de défaut sont deux fois plus faibles qu'en schéma TN. Ceci a incité le normalisateur à autoriser des temps de fonctionnement des DPCC plus longs (cf. fig. 14).

Comme en SLT TN, la protection par DPCC n'est valable que pour des longueurs maxi de câbles :

- neutre distribué :

$$L_{\max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{0,8 U_0 \cdot S_{ph}}{\rho (1 + m) \cdot I_a}$$

- neutre non distribué :

$$L_{\max} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{0,8 U_0 \cdot S_{ph}}{\rho (1 + m) \cdot I_a}$$

Ceci à condition que le neutre soit protégé et que sa section soit égale à la section des phases... C'est essentiellement pour cette raison que la NF C 15-100 déconseille de distribuer le neutre.

□ le défaut concerne deux conducteurs actifs différents mais toutes les masses ne sont pas interconnectées.

Pour des masses mises à la terre individuellement ou par groupe, chaque circuit ou chaque groupe de circuits doit être protégé par un DDR.

En effet, en cas de défaut d'isolement au niveau des groupes raccordés à deux prises de terre différentes, le comportement du schéma des liaisons à la terre par rapport au défaut d'isolement (I_d , U_d) est analogue à celui d'un schéma en TT (le courant de défaut passe par la terre).

La protection des personnes contre les contacts indirects est alors assurée de

$$\text{la même manière } I\Delta n \leq \frac{U_L}{R_A}$$

selon le tableau de la figure 11.

A noter qu'étant donné les temps prescrits par la norme, une sélectivité chronométrique horizontale peut être réalisée pour privilégier la continuité de service sur certains départs.

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

Le lecteur désirent approfondir l'étude du SLT IT peut lire le Cahier Technique n° 178.

Afin d'avoir une vision synthétique des grandeurs qui caractérisent les différents SLT, vis-à-vis de la protection des personnes, les principales formules sont rassemblées dans le tableau de la figure 15.

U ₀ /U (volts) U ₀ : tension phase/neutre U : tension entre phases	U _L = 50 V temps de coupure (secondes)		U _L = 25 V temps de coupure (secondes)	
	neutre non distribué	neutre distribué	neutre non distribué	neutre distribué
127/220	0,8	5	0,4	1,00
230/400	0,4	0,8	0,2	0,5
400/690	0,2	0,4	0,06	0,2
580/1 000	0,1	0,2	0,02	0,08

fig. 14 : temps de coupure maximaux spécifiés en schéma IT (selon CEI 364 et NF C 15-100, tableaux 41 B et 48 A.)

	I _d	U _d	L _{max}	continuité de service
TN	$\frac{0,8 U_0 \cdot S_{ph}}{\rho (1 + m) \cdot L}$	$\frac{0,8 U_0}{1 + m}$	$\frac{0,8 U_0 \cdot S_{ph}}{\rho (1 + m) \cdot I_a}$	sélectivité verticale
TT	$\frac{U_0}{R_a + R_b}$	$\frac{U_0 \cdot R_a}{R_a + R_b}$	pas de contrainte	sélectivité verticale
IT	1er défaut < 1 A	<< U _L		non déclenchement
défaut double avec neutre	$\leq \frac{1}{2} \cdot \frac{0,8 U_0 \cdot S_{ph}}{\rho (1 + m) \cdot L}$	$\leq \frac{m}{2} \cdot \frac{0,8 U_0}{1 + m}$	$\frac{1}{2} \cdot \frac{0,8 U_0 \cdot S_{ph}}{\rho (1 + m) \cdot I_a}$	sélectivité verticale et possibilité de sélectivité horizontale au profit des départs de forte intensité
défaut double entre phases	$\leq \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{0,8 U_0 \cdot S_{ph}}{\rho (1 + m) \cdot L}$	$\leq \frac{m \cdot \sqrt{3}}{2} \cdot \frac{0,8 U_0}{1 + m}$	$\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{0,8 U_0 \cdot S_{ph}}{\rho (1 + m) \cdot I_a}$	

Rappelons que :

■ $\rho = 22 \times 10^{-6} \Omega/\text{mm}^2/\text{m}$ pour Cu (36 pour Al) ;

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

■ la section du PE, généralement égale à la section des phases, peut être égale à la moitié de la section des phases lorsque celle-ci dépasse 35 mm²... ce qui augmente U_d en TN et IT.

fig. 15 : grandeurs caractéristiques des SLT.

3. les SLT et les risques d'incendie et de non disponibilité de l'énergie

risque d'incendie

Il a été démontré, puis accepté par les normalisateurs, qu'un contact ponctuel entre un conducteur et une pièce métallique peut provoquer, dans les locaux particulièrement sensibles, un incendie lorsque le courant de défaut dépasse 500 mA.

A titre d'exemple :

- locaux à risque important : usines pétrochimiques, fermes ;
- locaux à risque moyen, mais où les conséquences peuvent être très graves : immeubles de grande hauteur recevant du public...

En neutre isolé, le risque "incendie" :

- est très faible au premier défaut,
- est aussi important qu'en TN au deuxième défaut.

Pour les SLT TT et surtout TN, le courant de défaut est dangereux vu la puissance développée ($P = R_d \cdot I^2$) :

- en TT = 5 A < Id < 50 A ;
- en TN = 1 kA < Id < 100 kA.

La puissance mise en jeu au point de défaut est, surtout en schéma TN, considérable et il convient d'agir dès les plus bas niveaux de courant et le plus vite possible pour limiter l'énergie dissipée ($\int R_d \cdot i^2 \cdot dt$).

Cette protection, prescrite par la CEI et exigée par les normes françaises (NF C 15-100 § 482-2-10), est réalisée par un DDR instantané à seuil ≤ 500 mA et ce, quel que soit le SLT.

Lorsque des risques d'incendie sont particulièrement importants (fabrication/stockage de matière inflammable, ...), il est nécessaire, voire obligatoire, d'utiliser un SLT à masses à la terre minimisant naturellement ce risque (TT ou IT).

A noter que le TN-C est interdit en France par la NF C 15-100 lorsqu'il y a un risque d'incendie (conditions BE2) et/ou d'explosion (conditions BE3) : les conducteurs PE et de neutre étant confondus, il n'est pas possible de mettre en œuvre des DDR.

risque de non disponibilité de l'énergie

Ce risque est important pour l'exploitant, car il conduit à des coûts de non production et de réparation qui peuvent être importants.

Il est différent selon le SLT choisi. Rappelons que la disponibilité (D) est une grandeur statistique (cf. fig. 16) égale au rapport entre deux durées :

- temps pendant lequel le secteur est présent ;
- durée de référence égale au temps "secteur présent + secteur absent".

Le temps de bon fonctionnement (MUT) dépend de l'état général de l'isolement du réseau. Or l'isolement se dégrade dans le temps avec les agressions thermiques et les efforts électrodynamiques dus en particulier aux courant de défaut.

Le temps de panne (MDT) dépend lui aussi du courant de défaut et notamment de son intensité qui, selon sa valeur, peut provoquer :

- des dégâts plus ou moins importants dans les récepteurs, les câbles... ;
- des incendies ;
- des dysfonctionnements sur les équipements courant faible du contrôle-commande.

Vis-à-vis de la disponibilité de l'énergie électrique, il convient donc d'étudier chaque SLT. Le SLT IT mérite un approfondissement particulier puisqu'il est le seul à autoriser le non déclenchement en présence d'un défaut.

■ le SLT IT

Pour conserver tout l'avantage du SLT IT qui est de ne pas interrompre la distribution électrique dès le premier défaut, il faut

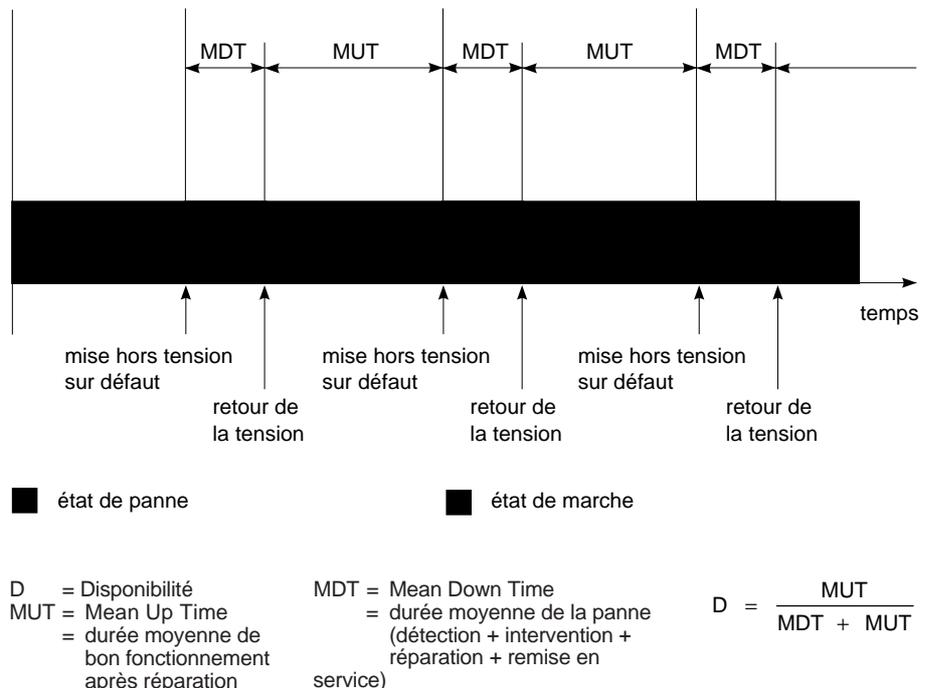


fig. 16 : disponibilité de l'énergie électrique.

éviter le deuxième défaut qui présente alors les mêmes risques importants que le SLT TN. Pour ce faire, il faut supprimer ce premier défaut avant qu'un deuxième ne survienne.

L'emploi de moyens de détection et de localisation efficaces par un personnel de maintenance réactif réduit très fortement la probabilité du "défaut double".

De plus il existe actuellement des dispositifs de contrôle qui permettent de suivre dans le temps l'évolution de l'isolement des différents départs, de faire de la prédiction de défaut et donc d'anticiper la maintenance du premier défaut.

D'où une disponibilité maximale possible avec le SLT IT.

■ les SLT TN et TT

Ils font appel à la sélectivité au déclenchement.

En TN, celle-ci est acquise avec les protections de court-circuit si le plan de protection de l'installation est bien étudié (sélectivité ampèremétrique).

En TT, elle est facile à mettre en œuvre grâce aux DDR qui permettent de réaliser une sélectivité ampèremétrique et chronométrique.

Rappelons qu'avec le TN, le temps de réparation, vu le $\int i^2 dt$, risque d'être plus important qu'en TT, ce qui joue aussi sur la disponibilité.

■ pour tous les SLT

Il est toujours intéressant de prévenir les défauts d'isolement, en particulier les défauts d'isolement de certains moteurs avant leur démarrage. Il faut savoir que 20 % des pannes moteur sont dues à un défaut d'isolement,

lequel se manifeste à la mise sous tension. En effet, une perte d'isolement, même faible, sur un moteur chaud qui se refroidit dans une ambiance humide (condensation) dégénère en défaut franc lors du redémarrage, entraînant d'une part des dégâts importants au niveau des bobinages, d'autre part une perte d'exploitation voire des risques majeurs s'il s'agit d'un moteur à vocation sécuritaire (moteur de pompe d'exhaure, d'incendie, de ventilateur,...).

La prévention de ce type d'incident peut être faite, quel que soit le SLT, par un Contrôleur Permanent d'Isolement surveillant le récepteur hors tension. En présence d'un défaut, le démarrage est alors empêché.

En conclusion de ce paragraphe il est clair que, pour une bonne disponibilité

de l'énergie, les SLT se classent dans l'ordre de préférence : IT, TT, TN.

Nota :

Si pour des impératifs de continuité de service l'installation comporte un groupe électrogène ou une ASI - Alimentation Sans Interruption (onduleur), lors du passage sur la source de remplacement, il y a un risque de non fonctionnement ou de fonctionnement tardif des DPCC (Icc plus faible - cf. fig. 17).

En TN et IT, pour la sécurité des personnes et des biens, il est donc indispensable de vérifier que les conditions de protection sont toujours respectées (seuil et temps de fonctionnement), surtout pour les départs de grande longueur.

Si ce n'est pas le cas, il convient de mettre en œuvre des DDR.

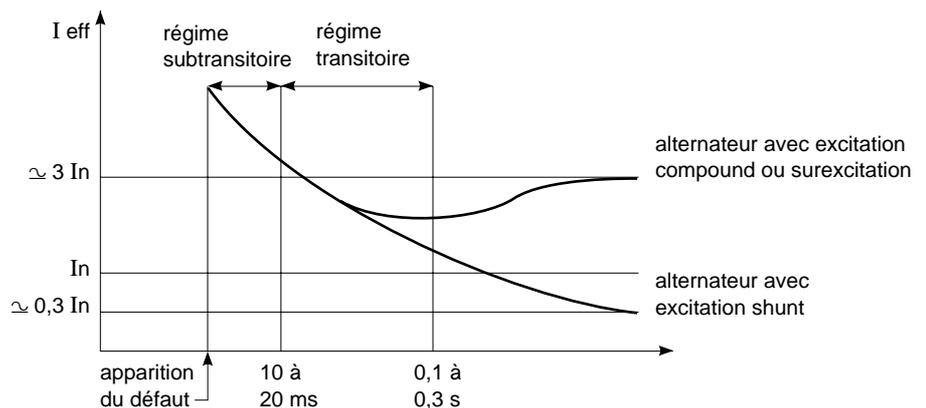


fig. 17 : établissement d'un courant de court-circuit dans un réseau alimenté par un groupe de secours "diesel/alternateur".

4. influences de la MT sur la BT, selon les SLT

Les réseaux BT, sauf utilisation d'une alimentation de remplacement sans coupure (avec isolement galvanique) ou d'un transformateur BT/BT, sont sous influence de la MT.

Cette influence se fait :

- par couplage capacitif : transmission de surtensions des enroulements MT aux enroulements BT ;
- par couplage galvanique en cas de claquage entre les enroulements MT et BT ;
- par impédance commune si les diverses prises de terre sont reliées et qu'un courant d'origine MT s'écoule à la terre.

Elle se traduit par des perturbations en BT, souvent des surtensions, dont les phénomènes générateurs sont des incidents en MT :

- la foudre ;
- les surtensions de manœuvre ;
- un claquage MT-masse interne au transformateur ;
- un claquage MT-BT interne au transformateur.

Leur conséquence la plus fréquente est la destruction des isolants BT avec pour corollaire les risques d'électrisation des personnes et de destruction de matériel.

la foudre

Si le réseau MT est aérien, pour limiter les conséquences d'un coup de foudre direct ou indirect, le distributeur installe des parafoudres ZnO.

Placés sur le dernier pylône avant le poste MT/BT, ces parafoudres limitent la surtension et écoulent le courant de foudre à la terre (cf. Cahiers Techniques n° 151 et 168).

Une onde de foudre est cependant transmise, par effet capacitif entre les bobinages du transformateur, aux conducteurs actifs BT. Elle peut atteindre 10 kV crête. Bien qu'elle soit progressivement atténuée par les capacités parasites du réseau par rapport à la terre, il est sage de placer des limiteurs de surtension

(parafoudres) ZnO à l'origine du réseau BT, quel que soit son SLT (cf. fig. 18).

De même, pour éviter un couplage par impédance commune, il est prudent de ne jamais relier à la prise de terre du neutre BT :

- les parafoudres MT ;
- les paratonnerres placés sur le toit des immeubles.

En effet, le courant de foudre provoquerait une montée en potentiel du PE et/ou du neutre BT (risque de claquage en retour) et la perte d'efficacité de la prise de terre par vitrification.

les surtensions de manœuvre

Certains appareillages MT (par exemple les disjoncteurs à vide) provoquent lors de leur manœuvre des surtensions importantes (cf. Cahier Technique n° 143).

Contrairement à la foudre qui est une perturbation de mode commun (entre réseau et terre), ces surtensions sont, en BT, des perturbations de mode différentiel (entre conducteurs actifs). Elles sont transmises au réseau BT par couplage capacitif et magnétique.

Comme tout phénomène de mode différentiel, les surtensions de manœuvre n'interfèrent pas, ou très peu, avec les SLT, quels qu'ils soient.

un claquage MT-masse interne au transformateur

Lors d'un claquage MT-masse interne au transformateur- et quand la masse du transformateur et le neutre de l'installation BT sont reliés à une même prise de terre, un courant "homopolaire" MT (dont l'intensité est fonction du SLT-MT) peut porter la masse du transformateur et du neutre de l'installation BT à un potentiel dangereux.

En effet, la valeur de la prise de terre du transformateur conditionne directement la tension de toucher (= tension de contact) dans le poste $U_t \leq R_p \cdot I_{h_{MT}}$ et la tension de tenue diélectrique des matériels BT du poste $U_{tp} = R_p \cdot I_{h_{MT}}$ (si la terre du neutre BT est séparée de celle du poste).

La prise de terre du poste et celle du neutre BT ne sont généralement pas reliées. Si elles le sont, une limite est donnée à la valeur de la prise de terre commune pour éviter la montée en potentiel du réseau BT par rapport à la terre profonde. La figure 19 donne les valeurs de la prise de terre commune

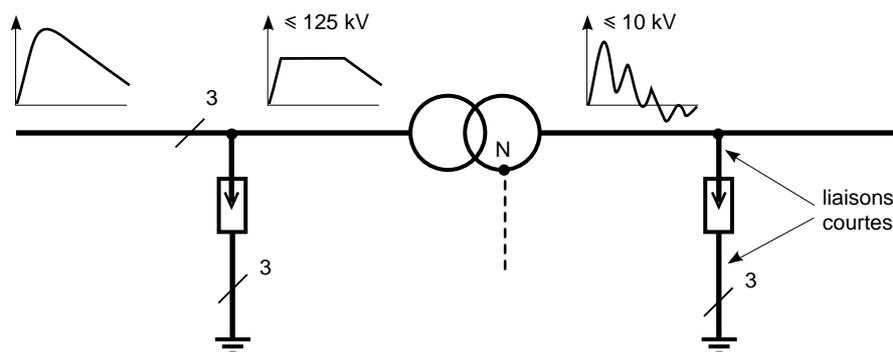


fig. 18 : limitation et transmission des surtensions de foudre (que le neutre soit à la terre ou non, il y a des surtensions de mode commun sur les phases).

pour les valeurs de $I_{h_{MT}}$ des réseaux publics français, le lecteur intéressé peut consulter la norme CEI 384-4-442 qui explicite les risques en fonction des SLT BT.

Toujours pour les réseaux publics (hormis l'Australie et les USA où le courant défaut peut être très élevé) les valeurs rencontrées vont de 10 A en Irlande (une impédance compense le courant capacitif) à 1 000 A en France (réseaux souterrains) et en Grande Bretagne.

Les réseaux MT industriels sont généralement exploités en IT impédant, ils ont un courant homopolaire $I_{h_{MT}}$ de quelques dizaines d'ampères (cf. Cahier Technique n° 62).

La valeur maximale autorisée de la prise de terre dépend des conditions d'équipotentialité des masses du réseau BT, donc de son SLT.

un claquage MT-BT interne au transformateur

Pour éviter que le niveau du potentiel par rapport à la terre du réseau BT s'élève à celui de la tension simple du réseau MT lors d'un claquage MT-BT interne au transformateur, il faut relier le réseau BT à la terre.

Un tel défaut a pour conséquences :

■ en TN

Tout le réseau BT, y compris le PE, est soumis à la tension $I_{h_{MT}} \cdot R_{PAB}$ ou R_{AB} . Si cette surtension dépasse la tenue diélectrique du réseau BT, (en pratique de l'ordre de 1 500 V) des claquages en BT sont possibles si

l'équipotentialité de toutes les masses, électriques ou non, du bâtiment n'est pas totale ;

■ en TT

Alors que les masses des récepteurs sont au potentiel de la terre profonde, tout le réseau BT est soumis à $I_{h_{MT}} \cdot R_{PB}$ ou R_B : il y a un risque de claquage "en retour" des récepteurs si la tension développée dans R_{PB} ou R_B dépasse leur tenue diélectrique ;

■ en IT

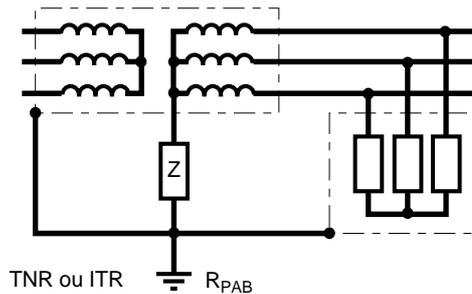
Le fonctionnement d'un éclateur/court-circuit (appelé limiteur de surtension en France), qui se met en court-circuit

dès que sa tension d'amorçage est atteinte ramène alors le problème à celui du réseau TN (ou TT si plusieurs prises de terre des utilisations).

Dans tous les cas, les claquages MT/BT occasionnent des contraintes qui

peuvent être sévères, pour l'installation et les récepteurs BT, si la valeur de la prise de terre du neutre BT n'est pas maîtrisée. Le lecteur intéressé peut consulter la CEI 364 qui explicite les risques en fonction des SLT.

schémas (1)

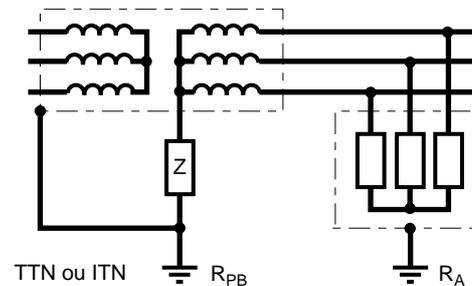


TNR ou ITR R_{PAB}

résistance maximale de la prise de terre des masses du poste R_P (Ω)

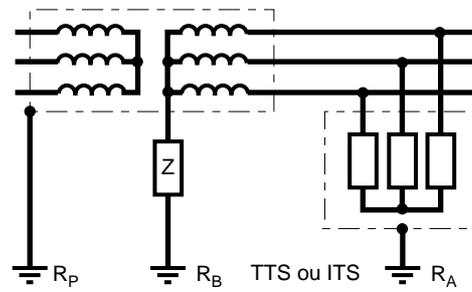
pas de valeur prescrite mais les valeurs suivantes permettent d'éviter la montée en potentiel de l'ensemble

$I_{h_{MT}}$ (A)	R_{PAB} (Ω)
300	3 à 20
1 000	1 à 10



TTN ou ITN R_{PB} R_A

$I_{h_{MT}}$ (A)	R_{PB} (Ω)
300	3
1 000	1



TTS ou ITS R_P R_B R_A

U _{tp} (kV)	2	4	10
$I_{h_{MT}}$ (A)	R_P (Ω)		
300	4	8	20
1 000	1	3	10

Z : liaison directe dans les schémas TN et TT

liaison par impédance ou isolée dans les schémas IT avec présence d'un éclateur

I_m : intensité maximale du courant de premier défaut monophasé à la terre du réseau à haute tension alimentant le poste

U_{tp} : tension de tenue à la fréquence industrielle des matériels à basse tension du poste

(1) la troisième lettre des schémas des liaisons à la terre signifie selon NFC-13100 que :

- toutes les masses sont Relevées : R ;
- la masse du poste est reliée à celle du Neutre : N ;
- les prises de terre sont Séparées : S.

fig. 19 : résistance maximale de la prise de terre des masses du poste en fonction du schéma des liaisons à la terre du réseau.

L'exemple de la distribution publique, en aérien, en France donne une réponse à une situation où les risques de foudre, de surtension de manœuvre, de claquages MT-masse du transformateur et MT-BT sont présents (cf. fig. 20). Il montre que l'équipotentialité de toute la distribution

(toutes les masses MT, les neutres et les masses d'utilisation reliés) n'est pas indispensable : chaque risque est traité séparément.

Dans ce chapitre l'influence du réseau MT a été décrite, il en résulte:

■ l'intérêt de l'emploi de parafoudres à l'origine de l'installation BT, quel que

soit le type de SLT, ceci si l'alimentation MT, et a fortiori BT, est aérienne ;

■ que le fait de relier la prise de terre du poste avec la prise de terre du neutre BT, voire avec celles des masses des utilisations, impose des contraintes variables sur le réseau BT en fonction du SLT MT (valeur du I_h).

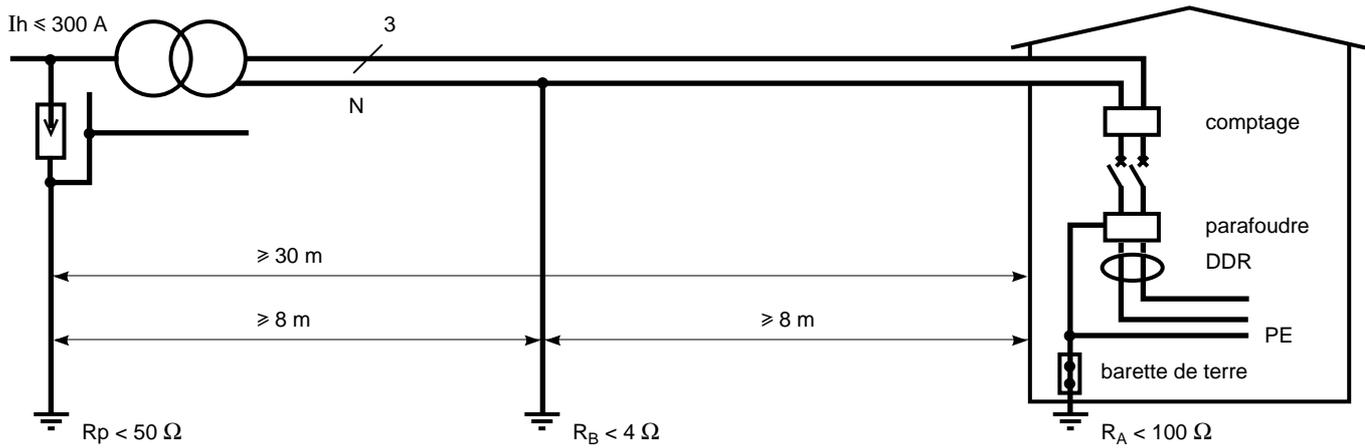


fig. 20 : distribution publique aérienne rurale en France.

5. appareillages liés au choix du SLT

Le choix d'un SLT a des conséquences en terme de **sûreté** (au sens large), mais aussi en terme d'installation, particulièrement en ce qui concerne l'appareillage à mettre en œuvre.

SLT -TN- "Mise au neutre"

Dans ce schéma, ce sont les DPCC (disjoncteur ou fusibles) qui assurent en général la protection contre les défauts d'isolement, avec un déclenchement automatique suivant un temps de coupure maximal spécifié (fonction de la tension simple U_0 : cf. fig. 9).

■ avec disjoncteur

Dès que le courant de défaut dépasse le seuil du déclencheur de protection contre les courts-circuits (en général "instantané"), il y a ouverture dans un temps nettement inférieur au temps de coupure maximal spécifié, par exemple 5 s pour les circuits de distribution (§ 413-1-34 de la norme) et 0,4 s pour les circuits terminaux (cf. fig. 21).

Quand l'impédance de la source et des câbles a une valeur élevée, il faut utiliser des déclencheurs à seuil bas, sinon associer des DDR aux DPCC. Ces DDR peuvent être des relais différentiels séparés ou associés aux disjoncteurs (disjoncteurs différentiels) de basse sensibilité. Leur seuil doit être :

$$I\Delta n < \frac{0,8 U_0}{R_{ph} + R_{PE}}$$

L'emploi de DDR présente l'avantage de rendre inutile la vérification de l'impédance de boucle, avantage particulièrement intéressant lorsque l'installation est modifiée ou fait l'objet d'extensions.

Cette dernière solution n'est évidemment pas applicable avec un SLT de type TN-C (le conducteur de protection étant confondu avec le conducteur de neutre).

■ avec fusibles

Les fusibles employés pour la protection contre les courts-circuits sont de type gG, et leurs caractéristiques temps/courant (cf. fig. 22) sont définies par des normes (fusibles domestiques : CEI 241, fusibles industriels : CEI 269). Vérifier l'adéquation avec le temps de coupure maximal spécifié impose donc une validation individuelle des calibres prévus pour chaque protection.

S'il n'y a pas adéquation il faut, soit diminuer l'impédance de la boucle de défaut (augmentation des sections), soit remplacer le fusible par un disjoncteur à seuil bas ou par un disjoncteur différentiel.

SLT -TT- "Neutre à la terre"

Avec ce schéma, la faible valeur des courants de défaut (cf. chapitre précédent) ne permet pas aux DPCC d'assurer la protection des personnes

contre les contacts indirects. Il faut employer des DDR (cf. fig. 23) associés à des disjoncteurs ou à des interrupteurs (cf. CEI 364 - § 413.1.4.2 et NF C 15-100).

Ces dispositifs doivent satisfaire à des normes, en particulier :

- CEI 755 : règles générales ;
- CEI 1008 : interrupteurs différentiels "domestiques" ;
- CEI 1009 : DPCC différentiel "domestique" ;
- CEI 947-2 : disjoncteurs différentiels "industriels".

Leur mise en œuvre doit satisfaire aux objectifs :

- de protection des personnes soit :
 - seuil $I\Delta n \leq U_L/R_A$,
 - temps de coupure ≤ 1 s ;
- de continuité de service avec seuils et temporisations permettant la sélectivité ampèremétrique et chronométrique ;
- de protection incendie avec $I\Delta n \leq 500$ mA.



fig. 23 : bloc vigi de Compact NS.

	type de déclencheur	seuil de fonctionnement
domestique (EN 60898)	B	$3 I_n \leq I_a \leq 5 I_n$
	C	$5 I_n \leq I_a \leq 10 I_n$
	D	$10 I_n \leq I_a \leq 20 I_n$
industriel (CEI 947-2)	G (seuil bas)	$2 I_n \leq I_a \leq 5 I_n$
	D	$5 I_n \leq I_a \leq 10 I_n$
	MA (pour démarreur-moteur)	$6,3 I_n \leq I_a \leq 12,5 I_n$

fig. 21 : courant de déclenchement (magnétique ou court retard) des disjoncteurs BT.

I_n gG (A)	$I_{min. 10 s}$	$I_{max. 5 s}$	$I_{min. 0,1 s}$	$I_{max. 0,1 s}$
63	160	320	450	820
80	215	425	610	110
100	290	580	820	1450

fig. 22 : exemple des limites des seuils de fonctionnement des fusibles (selon CEI 269 § 5-6-3).

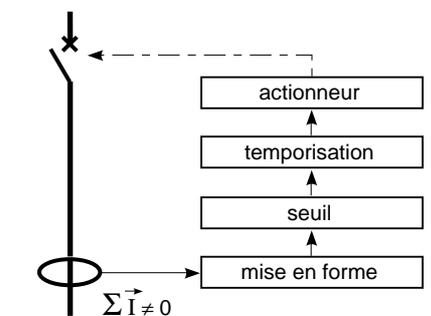


fig. 24 : schéma fonctionnel d'un DDR.

SLT -IT- “Neutre isolé de la terre”

Rappelons qu'en cas de défaut double, la sécurité des personnes est assurée par les DPCC. Lors du premier défaut d'isolement, le calcul nous a montré qu'il n'y avait pas de danger (tension de contact bien inférieure à la tension limite de sécurité). La mise hors tension automatique n'est donc pas obligatoire : c'est l'avantage essentiel de ce schéma.

Pour conserver cet avantage, les normes préconisent (CEI 364 - § 413.1.5.4) ou imposent (NF C 15 - 100) la mise en œuvre d'un Contrôleur Permanent d'isolement -CPI- et la recherche du premier défaut. En effet, si un deuxième défaut survient, la coupure automatique est indispensable puisqu'il y a le risque d'électrisation, c'est alors le rôle des DPCC éventuellement complétés de DDR.

La recherche du premier défaut pour réparation (maintenance curative) est grandement facilitée par l'emploi d'un Dispositif de Localisation de Défaut -DLD-.

Une maintenance prédictive, basée sur le suivi (enregistrement) des variations des impédances d'isolement de chaque circuit, est également possible.

Les réseaux BT, exploités selon le schéma IT, qui prennent leur origine au niveau d'un transformateur MT/BT doivent être protégés contre les risques de défaut d'isolement entre la MT et la BT par un “limiteur de surtension”.

Enfin, pour fixer le potentiel du réseau BT, par rapport à la terre, (réseau court alimenté par un transformateur MT/BT) et éviter le risque de ferrorésonance, une impédance peut être installée entre le neutre du transformateur et la terre. Sa valeur en 50 Hz, de l'ordre de $1\ 500\ \Omega$ est très élevée en courant continu et en très basse fréquence pour ne pas gêner la mesure de l'isolement et la recherche des défauts.

■ principe de fonctionnement des CPI
Un défaut sur un circuit, se traduit au niveau du réseau par une baisse d'isolement, plus exactement de résistance du réseau par rapport à la terre. En France, les CPI et les DLD doivent répondre à la norme de fabrication UTE 63080.

Les CPI ont donc comme fonction de surveiller la valeur de cette résistance. En général, ils fonctionnent sur le principe d'une injection, entre le réseau et la terre, d'un courant, alternatif ou continu, dont ils mesurent la valeur (cf. fig. 25).

L'injection d'un courant continu permet de connaître en permanence la résistance d'isolement du réseau. Si celle-ci passe en dessous d'un seuil préétabli, le CPI signale le défaut. L'injection de courant alternatif basse fréquence ($F \approx$ quelques hertz) permet le contrôle de la résistance de défaut, mais avec une distorsion due à la présence des capacités de fuite du réseau. Cet inconvénient mineur, vu la fréquence d'injection, est compensé par un avantage au niveau de la recherche du premier défaut (un seul dispositif d'injection).

Il existe maintenant des appareils, à injection de courant BF, capables d'indiquer séparément la résistance et la réactance d'isolement du réseau. Leur technique autorise en plus la recherche du premier défaut sans ouverture des circuits et sans la gêne due aux départs fortement capacitifs.

■ principe de fonctionnement des DLD
La solution la plus fréquemment employée consiste à injecter un courant identifiable (de fréquence différente de celle du réseau). Le générateur peut être le CPI. Puis au moyen de capteurs magnétiques (transformateurs toriques et/ou pince ampèremétrique) associés à un amplificateur accordé à la fréquence du courant injecté, de suivre son parcours jusqu'au point de défaut (cf. fig. 26).

Enfin une autre solution est aussi exploitée. Elle consiste à comparer, en permanence et pour chaque départ, la valeur de sa résistance à une valeur de seuil pré définie ou programmable.

Cette dernière solution exploitée par des moyens informatiques permet tout à la fois, en local et à distance, de :

- signaler le premier défaut (CPI),
- puis de le repérer (DLD) pour réparation (maintenance curative) (cf. fig. 27),

- et de connaître l'évolution de l'isolement dans le temps, départ par départ, pour intervenir sur les départs dont l'isolement baisse anormalement (maintenance prédictive).

■ limiteurs de surtension (NF C 63-150)

Ils sont raccordés entre un conducteur actif (neutre ou phase) de l'installation et la terre. Leur tension d'amorçage U_e doit donc être adaptée au montage prévu, ainsi pour un réseau 230/400 V - 50 Hz il existe deux modèles :

- 250 V, pour le raccordement au neutre ($400\text{ V} < U_e \leq 750\text{ V}$),
- 400 V, pour le raccordement à une phase ($700\text{ V} < U_e \leq 1\ 100\text{ V}$).

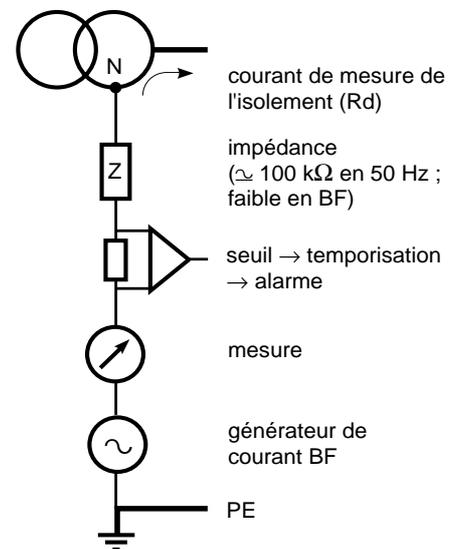


fig. 25 : schéma fonctionnel d'un contrôleur permanent d'isolement (CPI).

Leur but est double :

- limiter la tension sur le réseau BT lors d'un claquage MT/BT dans le transformateur de distribution. Dans ce cas, le limiteur doit écouler à la terre le courant "résiduel" du réseau MT,
- limiter les surtensions de foudre.

D'où leurs caractéristiques, par exemple pour le modèle 250 V :

- U_n : 250 V,
- U claquage à 50 Hz : mini 400 V, maxi 750 V,
- U claquage selon l'onde 1,2/50 μ s : $\hat{u} < 1\,570$ V,
- \hat{i}_{foudre} : 20 fois 2 500 A (onde 8/20 μ s) sans se mettre en court-circuit,
- $\hat{i}_{50\text{ Hz}}$: 20 000 A / 0,2 s,
5 000 A / 5 s,
1 200 A / 2 mn.

Cette tenue au courant de crête $\hat{i}_{50\text{ Hz}}$ est bien supérieure à la valeur du courant "résiduel" du réseau MT. Elle s'explique par le fait qu'un limiteur qui a été "amorçé" lors d'une très forte surtension peut rester en court-circuit, il doit être alors encore capable de supporter un courant de court-circuit BT faisant suite à un premier défaut d'isolement du réseau BT protégé.

Les limiteurs commercialisés sous la marque Merlin Gerin peuvent supporter 40 kA/0,2 s.

protection du neutre selon le SLT

Le neutre doit être coupé par un dispositif omnipolaire :

- en régime TT et TN si la section du neutre est inférieure à la section des phases ;
- en distribution terminale vu le risque d'inversion neutre/phase.

Le neutre doit être protégé et coupé :

- en régime IT pour intervention de la protection au défaut double, l'un des défauts pouvant être sur le neutre ;
- en régime TT et TN-S si la section du neutre est inférieure à la section des phases ;
- quel que soit le SLT si l'installation génère des courants harmoniques de rang 3 et multiples (surtout si la section du neutre est réduite).

En TN-C le neutre, qui est aussi le PE, ne peut être coupé, ce qui est dangereux du fait de ses variations de potentiel, dus aux courants de charge et aux courants de défaut d'isolement. Pour éviter les risques, il est nécessaire d'avoir, pour chaque zone/abonné, une

équipotentialité locale et une prise de terre.

La figure 28 page 20 montre quels sont les types de disjoncteurs à utiliser en fonction du SLT. Il est à remarquer que les SLT TT et TN peuvent utiliser les mêmes appareils (avec bloc différentiel en plus en TT).

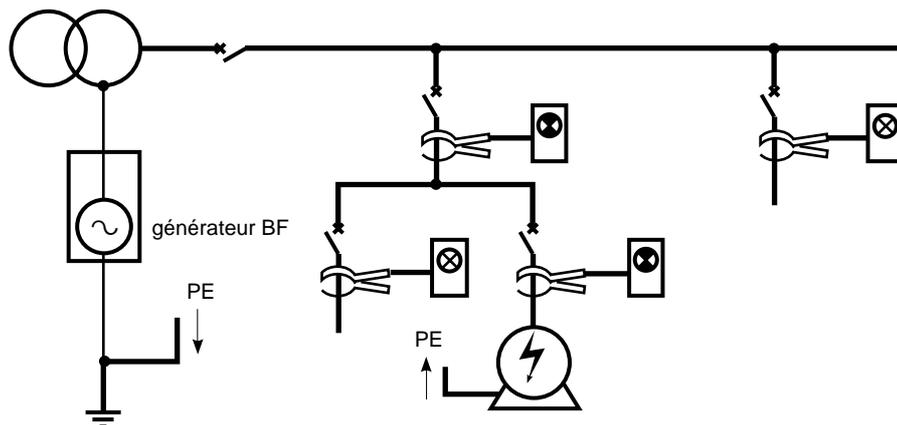
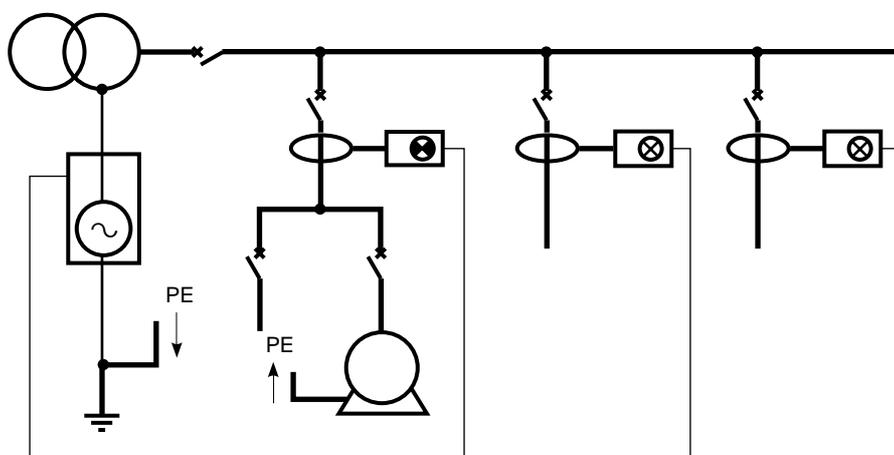


fig. 26 : localisation du défaut d'isolement par suivi du trajet d'un courant basse fréquence injecté à l'origine de l'installation.



bus "tension de recherche"

Le passage dans les conducteurs du courant de recherche est détecté par des capteurs magnétiques (tores). Chaque récepteur qui comporte un amplificateur sélectif (calé sur la fréquence et la phase du courant de recherche) calcule la résistance et la capacité du circuit (avec la tension et la phase dont il a la référence par un bus) et signale la présence du défaut.

fig. 27 : principe de fonctionnement d'un DLD à mesure d'impédance en BF.

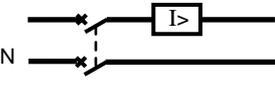
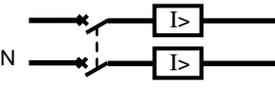
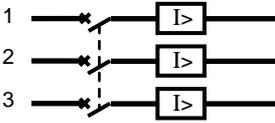
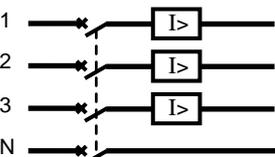
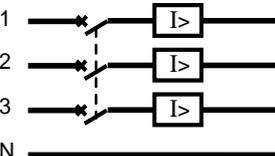
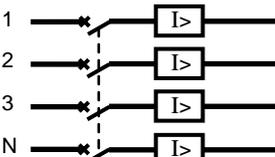
circuits	schémas			
	TN-C	TN-S	TT	IT
circuits monophasés				
circuits monophasés avec protection unipolaire	non	oui	oui	non
 disjoncteur bipolaire (1 pôle protégé, 2 pôles coupés)				
circuits monophasés avec protection bipolaire	non	oui	oui	oui
 disjoncteur bipolaire (à 2 pôles protégés)				
circuits triphasés sans neutre				
avec protection bipolaire	oui	oui	oui	oui
 disjoncteur tripolaire				
circuit triphasé avec neutre				
sans détection de surintensité sur le neutre	non	oui	oui	non
 disjoncteur tétrapolaire à 3 pôles protégés				
 disjoncteur tripolaire	oui	oui	oui	non
avec détection de surintensité sur le neutre	non	oui	oui	oui
 disjoncteur tétrapolaire à 4 pôles protégés				

fig. 28 : emploi des disjoncteurs selon les SLT.

6. choix du SLT et conclusion

Les trois SLT mondialement utilisés et normalisés par la CEI 364 ont pour objectif commun la recherche de la meilleure **sûreté**.

Sur le plan de la protection des personnes, les 3 régimes sont équivalents si l'on respecte toutes les règles d'installation et d'exploitation. Étant donné les caractéristiques spécifiques à chaque régime, il ne peut donc être question de faire un choix à priori.

Ce choix doit résulter d'une concertation entre l'utilisateur et le concepteur de réseau : (Bureaux d'études installateur...) sur :

- les caractéristiques de l'installation, ;
- les conditions et impératifs d'exploitation.

Il est illusoire de vouloir exploiter un réseau à neutre isolé dans une partie d'installation qui, par nature, possède un niveau d'isolement faible (quelques milliers d'ohms) : installations anciennes, étendues, avec lignes extérieures... De même il serait contradictoire, dans une industrie où la continuité de service ou de productivité est impérative et les risques d'incendie importants, de choisir une exploitation en mise au neutre.

méthodologie pour choisir le SLT

■ tout d'abord **ne pas oublier que les trois SLT peuvent coexister** dans une même installation électrique ; ce qui est une garantie pour obtenir la meilleure réponse aux besoins de sécurité et de disponibilité.

■ ensuite **s'assurer que le choix n'est pas recommandé ou imposé** par les normes ou la législation (décrets, arrêtés ministériels) ;

■ puis **dialoguer avec l'utilisateur** pour connaître ses exigences et ses moyens :

- besoin de continuité de service,
- service entretien ou non,
- risque incendie.

Globalement :

- continuité de service et service entretien : la solution est l'IT,
- continuité de service et pas de service entretien : pas de solution totalement satisfaisante ; préférer le TT pour lequel la sélectivité au déclenchement est plus facile à mettre en œuvre et qui minimise les dégâts par rapport au TN.

Les extensions sont simples à réaliser (pas de calcul).

- continuité de service non impérative et service entretien compétent : préférer le TN-S (réparation et extensions rapides et exécutées selon les règles),
- continuité de service non impérative et pas de service entretien : préférer le TT,
- risque d'incendie : IT si service entretien et emploi de DDR 0,5 A ou TT.

■ tenir compte de la spécificité du réseau et des récepteurs :

- réseau très étendu ou, à fort courant de fuite : préférer le TN-S,
- utilisation d'alimentations de remplacement ou de secours : préférer le TT,

- récepteurs sensibles aux forts courants de défaut (moteurs) : préférer le TT ou l'IT,
- récepteurs à faible isolement naturel (fours) ou avec filtre HF important (gros ordinateurs) : préférer le TN-S,
- alimentation des systèmes de contrôle-commande : préférer l'IT (continuité de service) ou le TT (meilleure équipotentialité des appareils communicants).

conclusion

Le meilleur choix, avec un seul SLT n'existe pas, il convient donc, **dans beaucoup de cas** de mettre en œuvre plusieurs SLT dans une même installation.

En règle générale, une installation en réseau, en distinguant bien les prioritaires des non prioritaires, en utilisant des sources de secours ou des alimentations sans interruption, est préférable à une installation monolithique arborescente.

L'objet de ce Cahier Technique étant de parfaire votre connaissance des SLT, nous espérons qu'il va vous permettre d'optimiser la **sûreté** de vos installations.

Le Cahier Technique n° 173, qui apporte un éclairage sur l'emploi des SLT dans le monde et sur leur évolution devrait compléter utilement votre information.

Signalons enfin que le guide de l'installation électrique, réalisé en 1991 par Merlin Gerin, suite à la parution de la nouvelle norme NF C 15-100, peut vous être d'une grande utilité pour la mise en œuvre pratique des régimes du neutre.

7. bibliographie

Normes et décrets

- CEI 241 : Coupe-circuit à fusibles pour usages domestiques ou analogues.
- CEI 269 : Fusibles basse tension.
- CEI 364 : Installation électriques des bâtiments.
- CEI 479 : Effets de courant passant par le corps humain.
- NFC 15-100 : Installations électriques à basse tension.
- NFC 63-150 : Limiteurs de surtension : règles.
- NFC 63-080 : Dispositifs de contrôle permanent d'isolement et dispositifs de localisation de défauts associés.
- CEI 947-2 : Appareillage à Basse Tension - 2^{ème} partie : Disjoncteurs.
- CEI 755 : Règles générales pour les dispositifs de protection à courant différentiel résiduel.
- décret français du 14.11.88

Cahiers Techniques

- Mise à la terre du neutre dans un réseau industriel HT, Cahier Technique n° 62 - F. SAUTRIAU
- Les dispositifs différentiels résiduels, Cahier Technique n° 114 - R. CALVAS
- Protection des personnes et alimentation sans coupure, Cahier Technique n° 129 - J.-N. FIORINA
- Les perturbations électriques en BT, Cahier Technique n° 141 - R. CALVAS

- Disjoncteurs au SF6 Fluarc et protection des moteurs MT, Cahier Technique n° 143 - J. HENNEBERT et D. GIBBS
- Introduction à la conception de la sûreté, Cahier Technique n° 144 - P. BONNEFOI
- Surtensions et coordination de l'isolement, Cahier Technique n° 151 - D. FULCHIRON
- La foudre et les installations électriques HT, Cahier Technique n° 168 - B. DE METZ NOBLAT
- Les schémas des liaisons à la terre dans le monde et évolutions, Cahier Technique n° 173 - B. LACROIX et R. CALVAS
- Connaissances et emploi du SLT neutre isolé, Cahier Technique n° 178 - E. TISON et I. HERITIER (édition prévue fin 1995)

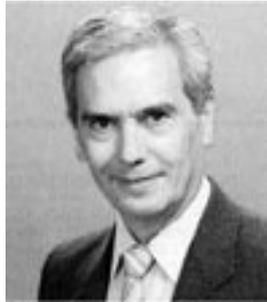
Publications diverses

- Guide de l'installation électrique (partie G) Ed. FRANCE IMPRESSION CONSEIL 1991.
- Guide de l'ingénierie électrique Ed. ELECTRA 1986.
- Electrical Review novembre 1991 - octobre 1992.
- La protection différentielle Cahier Technique J3E - 02/90



Bernard Lacroix

Ingénieur ESPCI 74 (Ecole Supérieure de Physique et Chimie Industrielle de Paris), il a travaillé 5 ans chez Jeumont Schneider où il a participé, entre autre, au développement du variateur de vitesse à hacheur du TGV. Entré chez Merlin Gerin en 1981, il a été successivement technico-commercial dans l'activité onduleur, puis responsable commercial de l'activité protection des personnes. Depuis 1991, il est en charge de la prescription dans le domaine de la distribution BT de Puissance.



Roland Calvas

Ingénieur ENSERG 1964 (Ecole Nationale Supérieure d'Electronique et Radioélectricité de Grenoble) et diplômé de l'Institut d'Administration des Entreprises, il est entré chez Merlin Gerin en 1966. Lors de son parcours professionnel, il a été responsable commercial, puis responsable marketing de l'activité protection des personnes. Il est aujourd'hui en charge de la communication technique du groupe Schneider.



n° 173

les schémas des liaisons à la terre dans le monde et évolutions

lexique

CEM	Compatibilité Electro Magnétique
CPI	Contrôleur Permanent d'Isolement
CR	protection Court Retard, (protection contre les surintensités de court-circuit par disjoncteur avec déclencheur rapide)
DDR	Dispositif Différentiel Résiduel
DLD	Détecteur Localisation de Défaut
DPCC	Dispositif de Protection contre les Courts-Circuits (disjoncteurs ou fusibles)
Electrisation	application d'une tension entre deux parties du corps
Electrocution	électrisation qui provoque la mort
GTB	Gestion Technique des Bâtiments
GTE	Gestion Technique de la distribution d'Energie électrique
GTP	Gestion Technique du process (automatisation des...)
IDn	seuil de fonctionnement d'un DDR
U_L	tension limite conventionnelle (tension de contact maximale admissible) dite de sécurité
MT/HTA	Moyenne Tension : 1 à 35 kV selon le CENELEC (circulaire du 27.07.92) Haute Tension de classe A : 1 à 50 kV selon le décret français du 14.11.88

les schémas des liaisons à la terre dans le monde et évolutions

sommaire

1. Rappel sur les SLT normalisés	Historique	p. 4
	Emergences des régimes du neutre	p. 4
	Les SLT de la CEI 364	p. 7
2. Schéma de liaison à la terre dans le monde	Généralités	p. 9
	Influence du SLT MT	p. 9
	SLT en BT	p. 10
	Les SLT des réseaux BT privés dans quelques pays	p. 11
3. Evolution et choix des SLT	Evolution des installations électriques	p. 15
	SLT et perturbations des systèmes électroniques	p. 15
	Evolution des SLT	p. 17
	Choix du SLT	p. 19
4. Conclusion		p. 21
Annexe 1		p. 22
Annexe 2 : bibliographie		p. 24

Après un rappel historique sur la naissance des **Schémas des Liaisons à la Terre - SLT** -, le lecteur trouvera dans ce Cahier Technique des informations sur les pratiques de quelques pays au niveau de la moyenne tension, des postes HT/BT, mais surtout en distribution BT publique, industrielle et tertiaire. Les installations électriques évoluent, l'électronique est partout ; ceci nous amène à jeter un regard nouveau sur les SLT (régimes du neutre) utilisés en BT ; et pourquoi pas, à prédire une évolution qui devrait rapprocher les schémas TN-S et TT. Les critères de choix des SLT ont changé... il est conseillé à ceux qui connaissent peu les SLT normalisés par la CEI 364 de lire d'abord le Cahier Technique n° 172.

1. rappel sur les SLT normalisés

L'utilisation de l'énergie électrique a pratiquement débuté en 1900.

Aujourd'hui les normes d'installation électrique sont très développées et traitent tous les aspects importants pour la réalisation d'une installation correcte.

En BT, la norme de référence est la CEI 364, (cf. annexe n° 1), et en France la NF C 15-100.

Les normalisateurs ont porté une attention toute particulière aux dispositions à mettre en œuvre pour assurer la protection des personnes et des biens (partie 4 des normes sus-citées).

Cette préoccupation a conduit à la normalisation de trois Schémas de Liaisons à la Terre - SLT - encore appelés régimes du neutre.

Avant de rappeler ce que sont ces trois schémas, il est intéressant de faire un petit rappel historique.

historique

Risque électrique et protection des personnes

■ **au 18^e siècle**, l'électricité statique produite par le frottement de certains corps isolants est une distraction "scientifique" qui fait sursauter les expérimentateurs ... dans les salons. Quelques expériences dangereuses montrent la nature électrique de la foudre.

Et en 1780 : par hasard, une "machine électrostatique" fait bouger les pattes d'une grenouille. Galvani observe la contraction des muscles par l'électricité ;

■ **en 1880** : pour transporter l'électricité sur plusieurs kilomètres, la tension continue quitte le domaine des 100 V (nécessaires au fonctionnement des lampes à arc) pour monter à 1 300 V (exposition de 82 à Munich) (cf. fig. 1), puis à 3 000 V (liaison Grenoble-Vizille) en 83.

Les défauts d'isolement provoquent fuites et courts-circuits.

La tension de 100 V CC peut, dit-on, être touchée sans danger.

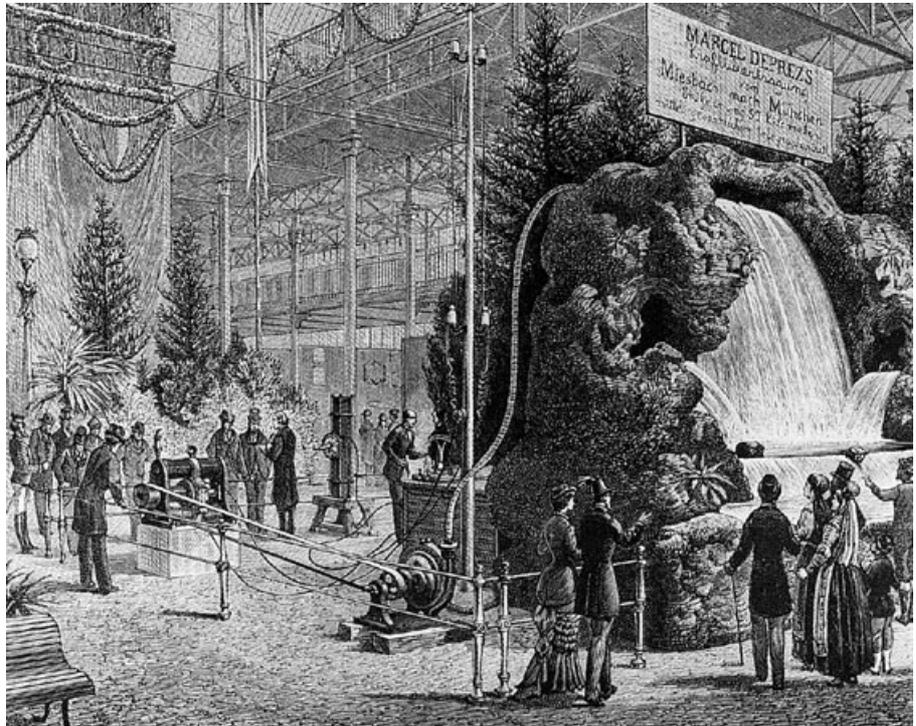


fig. 1 : installation de M. Desprez dans le palais de l'exposition de Munich.

■ **en 1886** : première installation de distribution en courant alternatif aux USA : alternateur 12 A / 500 V CA et 16 petits transformateurs fournissent le 100 V alternatif aux premiers abonnés.

■ **en 1889** : c'est la guerre du continu et de l'alternatif en Amérique du Nord :

□ Edison défend le courant continu, décrit les dangers du courant alternatif pour les personnes et fait des essais sur les chiens, les chevaux, □ Westinghouse est partisan de l'alternatif.

Edison propose un duel à Westinghouse : chacun sera soumis à des tensions identiques de 100, 150, 200 V etc. en courant continu pour Edison et en courant alternatif pour Westinghouse... ; prédiction : à 200 V CA, Westinghouse sera mort ! Le duel n'eut pas lieu ... un télégraphiste monté sur un poteau

s'électrocuta et brûla pendant une demi-heure en plein centre de New York.

■ **en 1890** : Kremler monte sur la chaise électrique et est électrocuté avec ... du courant alternatif ; Ainsi, à la fin du 19^e siècle, il était clair pour la communauté technico-scientifique que le courant électrique était dangereux... pour l'homme, et l'alternatif plus dangereux que le continu.

émergence des régimes du neutre

Ceux-ci sont le résultat d'une longue évolution guidée par la recherche de la meilleure protection des personnes.

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, supportées par des isolateurs ;

aucun point du réseau n'est mis volontairement à la terre.

Dans les habitations, la tension est de 100/110 V CA.

■ **en 1882**, une recommandation de la Société Britannique des Ingénieurs Télégraphistes et Electriciens, indique que, dans les habitations, si la tension est > 60 V CA il faut disposer appareillage et conducteurs de telle façon qu'il n'y ait pas de risque d'électrisation.

Pendant toute cette période, les fusibles fondent et les personnes "sont électrisées", (cf. fig. 2), mais, compte-tenu du niveau de la tension de distribution, il y a peu d'électrocution.

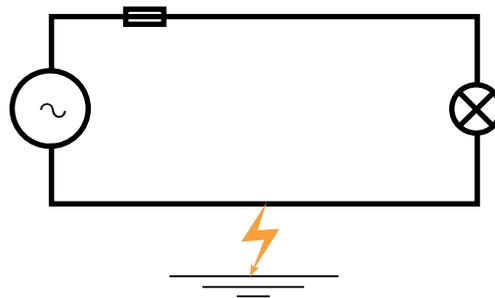
■ **en 1923**, en France, une "norme" relative aux installations électriques "impose" la mise à la terre des masses :

- carcasses de moteurs fixes et mobiles, susceptibles d'être touchées d'un endroit non isolé, dans les installations à courant alternatif de tension supérieure à 150 V,
- appareils électrodomestiques fixes et portatifs d'une puissance supérieure à 4 kW,
- enveloppes de chauffe-bains électriques installés dans les salles de bains,
- pièces métalliques situées dans les locaux imprégnés de liquides conducteurs et qui, par suite de défaut d'isolement, pourraient se trouver sous tension.

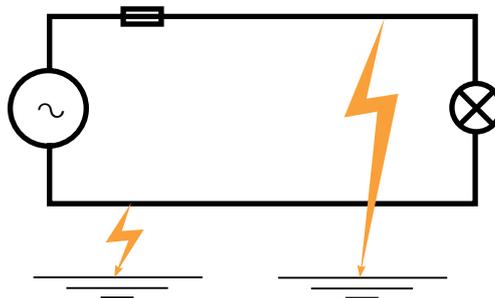
La norme ne donne aucune indication sur les conditions de mise à la terre, sur la valeur de la résistance de la prise de terre et ne prévoit aucun dispositif de protection. Elle comporte bien quelques règles concernant les coupe-circuit mais il s'agit seulement de conditions d'installation. Pour éviter la fusion des fusibles sur double défaut d'isolement, il est vite apparu souhaitable d'être averti de la présence du premier défaut. C'est pourquoi le premier contrôleur d'isolement à sécurité positive fut installé dans les installations industrielles, (cf. fig. 3). Si une lampe s'éteint, c'est qu'il y a un défaut entre la phase correspondante et la terre.

Ainsi est né le premier schéma des liaisons à la terre : le neutre isolé.

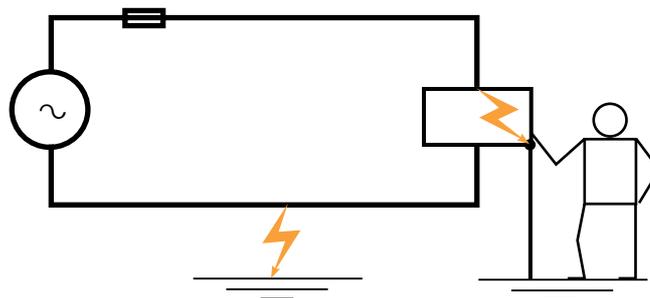
Le contrôleur permanent d'isolement (CPI), à trois lampes (en triphasé), est utilisé jusqu'en 1955.



1^{er} défaut
rien ne se passe



défaut double
le fusible fond
si défauts francs



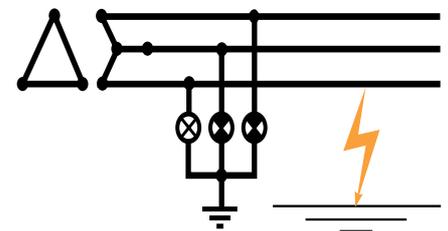
mise à la terre des masses des récepteurs (1923) pour éviter l'électrisation par "contact indirect"

fig. 2 : à l'origine : l'émergence du neutre isolé.

En 1951, les premiers CPI "à tubes", à injection de courant continu, sont installés dans les mines : l'isolement des phases et du neutre est contrôlé.

En 1962, sont fabriqués les premiers CPI à transistors (Vigilhom TA) et en 1972 les premiers CPI à injection de courant alternatif basse fréquence.

En 1927 un arrêté impose, en France, la mise à la terre du neutre du transformateur en distribution publique (tension 150 V CA).



une lampe qui s'éteint prévient d'un défaut d'isolement sur la phase correspondante

fig. 3 : contrôleur d'isolement à lampe dans l'industrie.

A cette époque, la production d'électricité en France est d'environ 350 kWh/habitant/an, (elle était de 7 en 1900) ; le dixième de cette production est distribuée en BT.

Les sociétés d'électricité alimentent plusieurs abonnés par transformateur. Or, en neutre isolé, deux défauts à la terre chez deux abonnés différents ne provoquent pas toujours la fusion des fusibles et le risque "incendie" est certain, (le risque "contact indirect" existe, mais il est ignoré) ;

Ainsi, l'application du décret de 1923 permet de mettre hors tension, plus sûrement, l'abonné en défaut et ainsi de garder un réseau sain.

En 1935, le décret sur la protection des travailleurs et la norme C 310, (reprise par la norme C 11 de 1946) commencent à parler du risque inhérent au défaut d'isolement. C'est à ce moment que l'association "mise à la terre des récepteurs et dispositifs de coupure automatique" apparaît. Ces derniers peuvent être des fusibles, des "différentiels" ou des relais voltmétriques de tension masse/terre (cf. fig. 4).

A noter que les dispositifs de protection de seuil inférieur à 30 A sont sensés assurer la sécurité !

Les premiers disjoncteurs de branchement différentiels sont fabriqués en 1954. Outre la protection des personnes et le découplage des abonnés, ils ont permis de lutter contre les branchements sauvages (vol de courant entre phase et terre au moment du passage du 127 V monophasé au 220 V biphasé (un seul enroulement de mesure du courant dans le compteur).

Ainsi est né, en France, le neutre à la terre, mais il faut attendre le décret du 14.11.62 sur la protection des travailleurs et la norme C 15-100 bleue du 28.11.62 pour que soit définie avec précision l'impédance de la boucle de défaut, donc les prises de terre, en fonction du calibre des fusibles ou du seuil des DDR alors fixé par la norme C 62-410 à : 450 ± 200 mA. La norme C 15-100 de 1962 officialise ainsi le neutre isolé et le neutre à la terre (mesure B1) ainsi que la mise au neutre (mesure B3).

Elle distingue bien les contacts directs et indirects. Elle liste les mesures de protection primaires (A) et les moyens de protection par dispositifs de coupure automatique (B), sans toutefois donner d'indication de temps de fonctionnement.

Parallèlement à la norme, le décret du 14.11.62 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.

Entre 1962 et 1973 chaque régime du neutre a ses partisans convaincus en France et dans les autres pays. La mise au neutre a le mérite d'être simple dans son principe ; ce sont les DPCC qui mettent hors tension les récepteurs (ou abonnés BT) qui ont un défaut d'isolement.

La mise au neutre (schéma) TN est pratiquée dans certains pays en distribution publique (pas en France) : (cf. fig. 5).

Son emploi, s'agissant de protection des personnes contre les contacts indirects, nécessite une maîtrise rigoureuse des impédances de boucle (quel que soit le point de défaut) pour être certain du fonctionnement du DPCC qui va déconnecter la partie en défaut dans les temps impartis.

La définition de ces temps par les experts de la CEI dans les années 70, en fonction de l'impédance du corps humain, et des effets pathophysiologiques, a autorisé son emploi.

Il convient de noter que transformer un défaut d'isolement en court-circuit augmente les risques de détérioration des matériels et les risques d'incendie. A ce propos, rappelons que la protection est basée sur l'hypothèse de l'évolution rapide d'un défaut d'isolement vers l'état de défaut franc entre phase et neutre.

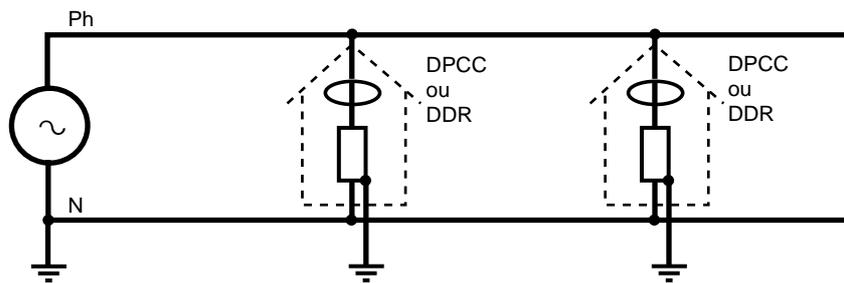


fig. 4 : neutre à la terre en distribution publique monophasée.

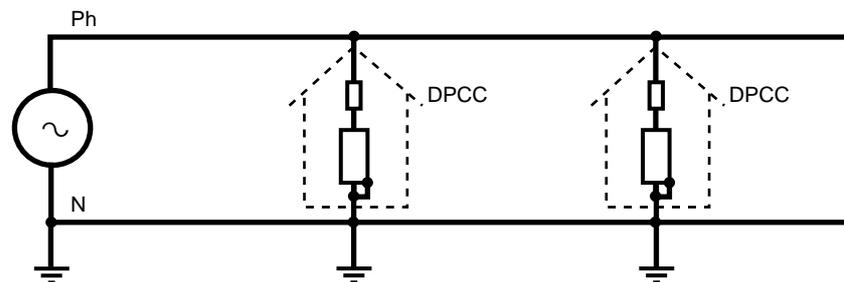


fig. 5 : neutre TN-C en distribution publique monophasée.

les SLT de la CEI 364

Les trois SLT normalisés au niveau international sont aujourd'hui repris par bon nombre de normes nationales : en France, par la norme d'installation BT NF-C 15-100.

Ces trois régimes du neutre sont étudiés en détail dans le Cahier Technique n° 172 ; avec, pour chacun, présentation des risques, et des appareillages de protection associés. Il convient toutefois de rappeler succinctement leur principe de protection.

Le schéma TN

(cf. fig. 6)

- le neutre du transformateur est mis à la terre ;

- les masses des récepteurs électriques sont reliées au neutre.

Le défaut d'isolement se transforme en court-circuit et la partie en défaut est déconnectée par la protection contre les courts-circuits (DPCC).

La tension de défaut (masse/terre profonde) dite de "contact indirect" est $\approx U_0/2$ si l'impédance du circuit "aller" est égale à celle du circuit "retour". Supérieure à la tension limite conventionnelle (U_L) qui est généralement de 50 V, elle nécessite une déconnexion d'autant plus rapide que U_d est grand devant U_L .

Le schéma TT

(cf. fig. 7)

- le neutre du transformateur est mis à la terre ;

- les masses des récepteurs électriques sont aussi reliées à une prise de terre.

Le courant de défaut d'isolement est limité par l'impédance des prises de terre et la partie en défaut déconnectée par un Dispositif Différentiel Résiduel - DDR -.

La tension de défaut est :

$U_c = U_0 \frac{R_A}{R_B + R_A}$, supérieure à la tension U_L , le DDR entre en action dès

que $I_d \geq \frac{U_L}{R_A}$

schéma TN-C

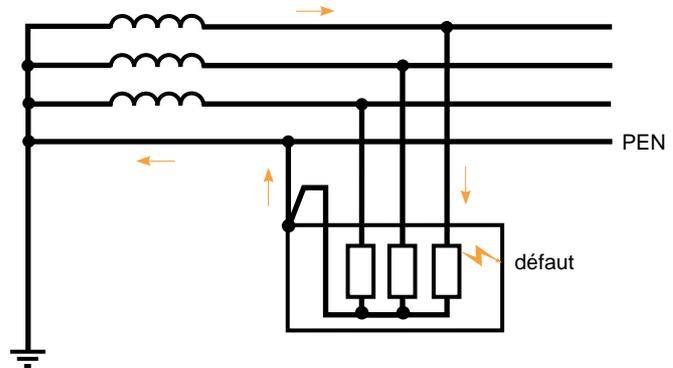


schéma TN-S

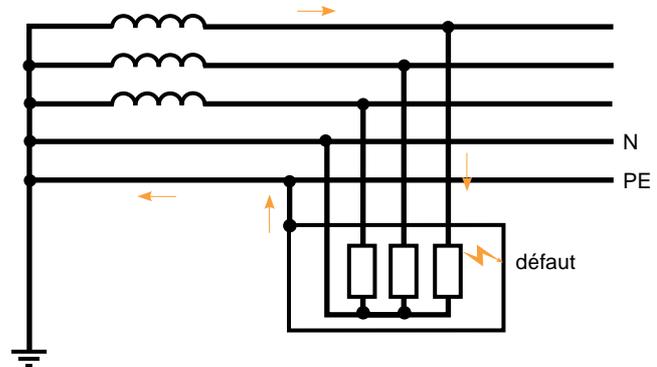


fig. 6 : schémas TN-C et TN-S

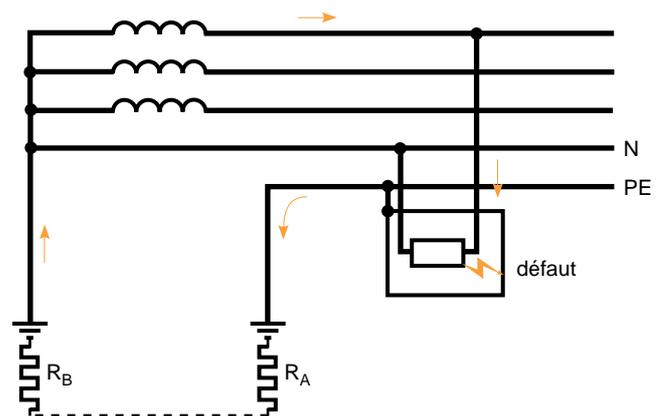


fig. 7 : schéma TT.

Le schéma IT

■ le neutre du transformateur n'est pas relié à la terre. Il est théoriquement isolé ; en fait, il est relié à la terre par les capacités parasites du réseau et/ou par une impédance de forte valeur $\approx 1\,500\ \Omega$ (neutre impédant).

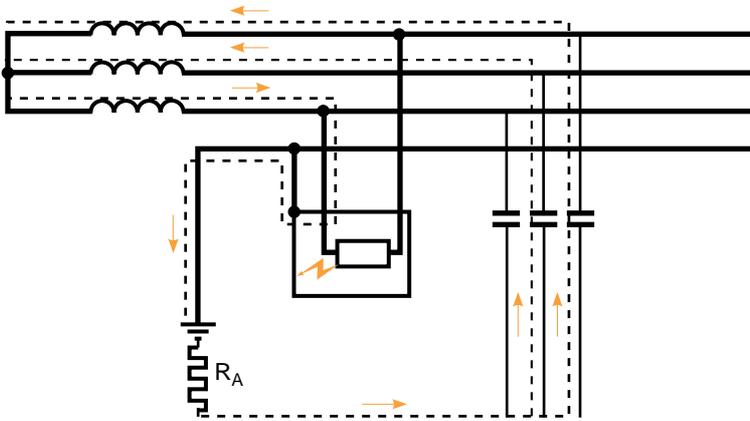
■ les masses des récepteurs électriques sont reliées à la terre. Si un défaut d'isolement se produit, un faible courant se développe du fait des capacités parasites du réseau (cf. 1^{er} schéma de la fig. 8).

La tension développée dans la prise de terre des masses (tout au plus quelques volts) ne présente pas de danger.

Si un deuxième défaut survient (cf. 2^e schéma de la fig. 8), alors que le premier n'est pas éliminé, il y a court-circuit et ce sont les DPCC qui assurent la protection nécessaire.

Les masses des récepteurs concernés sont portées au potentiel développé par le courant de défaut dans leur conducteur de protection (PE).

1^{er} défaut



défaut double

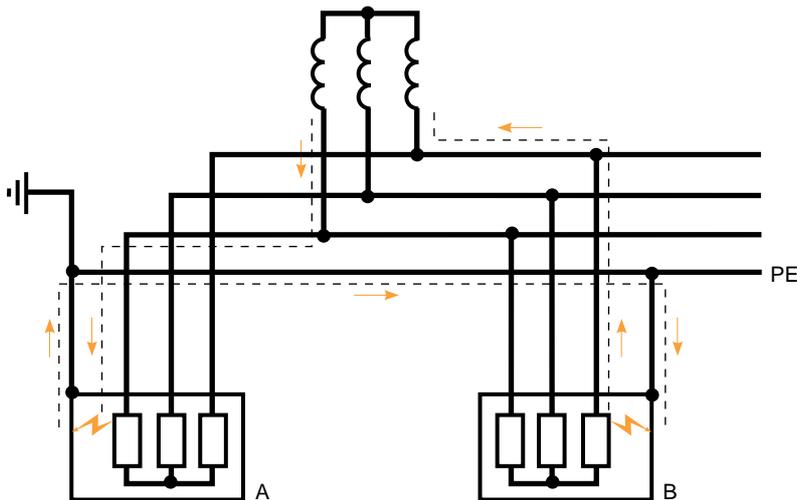


fig. 8 : schéma IT.

2. schéma des liaisons à la terre dans le monde

généralités

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

Les objectifs sont toujours les mêmes :

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

influence du SLT MT

Si les trois premiers objectifs ci-dessus sont du domaine des SLT BT, le quatrième a des répercussions non négligeables sur la sécurité des personnes et des biens en BT. Ainsi, au niveau des postes MT/BT, un défaut phase MT/masse, ou entre les enroulements MT et BT, peut créer un danger pour les matériels et les usagers du réseau BT.

En MT publique ou industrielle, sauf cas particulier, le neutre n'est pas distribué et il n'y a pas de conducteur de protection (PE) entre les postes ou entre poste et récepteur MT. Ainsi, un défaut phase/terre se traduit par un courant de court-circuit monophasé limité par la résistance des prises de terre et la présence éventuelle d'impédances de limitation (générateur homopolaire).

La tendance actuelle, dans les divers pays, est de limiter les courants de défaut homoplaire des réseaux MT ; ce qui permet :

- d'avoir une meilleure continuité de service (disponibilité de l'électricité) en autorisant la non coupure sur défaut temporaire ;

- de relier ou non les masses du poste MT/BT et celles du neutre BT pour éviter les risques aux usagers et aux matériels BT.

La CEI 364-4-442 indique que le schéma des liaisons à la terre dans un poste MT/BT doit être tel que l'installation BT ne soit pas soumise à une tension par rapport à la terre de :

- $U_0 + 250 \text{ V}$: plus de 5 s ;
- $U_0 + 1\,200 \text{ V}$: pendant moins de 5 s, ($U_0 \sqrt{3}$ en IT). Ceci signifie que les divers équipements raccordés au réseau BT doivent pouvoir supporter cette contrainte (cf. fig. 9a) ;

La même norme indique si $R_p > 1 \Omega$, la tension $R_p \cdot I_{h_{MT}}$ doit être éliminée par exemple :

- en moins de 500 ms pour 100 V ;
- en moins de 100 ms pour 500 V.

Si ce n'est pas le cas R_p et R_N doivent être distinctes, ceci quel que soit le SLT BT. Cette règle, pas toujours respectée dans certains pays, conduit souvent à la séparation des deux prises de terre (ceci pour les réseaux MT ayant un fort courant de défaut homopolaire). Si toutes les prises de terre (poste-neutre-utilisations) n'en forment plus qu'une, il est observé une montée en potentiel des masses BT qui peut être dangereuse (cf. fig. 9b).

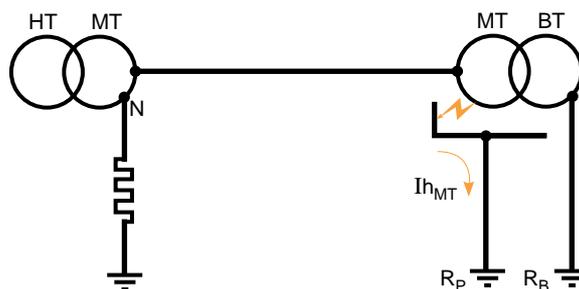


fig. 9a : si R_p et R_B sont reliées le courant de défaut fait monter le potentiel des réseaux BT par rapport à la terre.

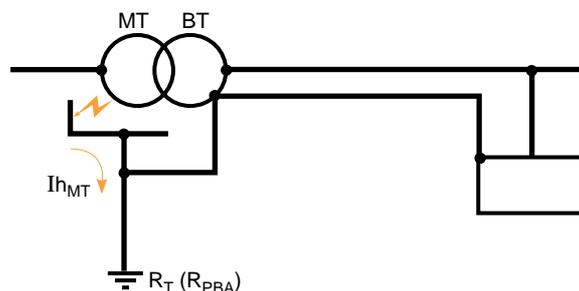


fig. 9b : les masses des récepteurs BT sont portées au potentiel $I_{h_{MT}} \cdot R_T$.

Le tableau de la figure 10 donne quelques exemples relatifs à la distribution publique dans le monde. Il montre que, dans beaucoup de pays, les prises de terre du poste et du neutre doivent être séparées si leur résultante n'est pas inférieure à 1 Ω.

A noter que pour les réseaux MT industriels, le SLT IT impédant est le plus souvent utilisé. Le "générateur homopolaire" fournit un courant résistif de l'ordre de 2 fois le courant capacitif du réseau (cf. Cahier Technique n° 62), ceci permet l'utilisation de DDR pour assurer la protection par déconnexion du départ en défaut.

SLT en BT

Les transformateurs MT/BT utilisés sont en règle générale des Dy 11 (triangle/étoile) ; à signaler toutefois pour la distribution publique aux USA et au Japon, l'emploi de la distribution monophasée à point milieu, (cf. fig. 11). La très grande majorité des pays appliquent ou s'inspirent de la norme CEI 364 qui définit les SLT TN, IT, et TT ainsi que les conditions de protection ; ceci pour la distribution publique et la distribution privée.

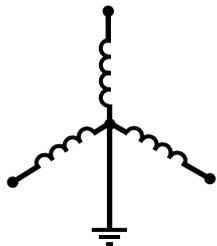
En distribution publique

Les régimes les plus utilisés sont le TT et le TN ; quelques pays, notamment la Norvège, utilisent le régime IT.

Le tableau de la figure 12 liste quelques exemples relatifs à la distribution publique (abonnés BT).

Ce tableau montre que les pays anglo-saxons utilisent surtout le TN-C, alors que le TT est employé dans le reste du monde.

a) triphasé étoile



b) monophasé à point milieu

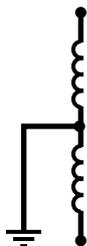


fig. 11 : couplage des enroulements secondaires du transformateur MT/BT.

pays	SLT MT	connexions des masses	observations
Allemagne 10 et 20 kV	isolé ou compensé Id < 60 A	reliées si Id x R _T < 250 V	R _p < 2 Ω ou 5 Ω
Australie 11 et 12 kV	direct à la terre Id = quelques kA	séparées sauf si R _T < 1 Ω	R _p < 10 Ω
Belgique 6,3 et 11 kV	impédance de limitation Id < 500 A	séparées d ≥ 15 m	R _p < 5 Ω
France 20 kV	impédance de limitation	séparées sauf si R _T	
aérien	Id ≤ 300 A	< 3 Ω	R _p < 30 Ω
souterrain	Id ≤ 1 000 A	< 1 Ω	R _p < 1 Ω
Grande Bretagne 11 kV	direct ou impédance de limitation Id < 1 000 A	séparées sauf si R _T < 1 Ω	R _p < 25 Ω
Italie 10-15 et 20 kV	isolé Id ≤ 60 A (plus en réalité)	séparées	R _p < 20 Ω
Irlande 10 et 38 kV	isolé en 10 kV compensé en 38 kV Id < 10 A	séparées sauf si R _T < 10 Ω	des impositions sur la façon de réaliser R _p
Japon 6,6 kV	isolé Id < 20 A	reliées R _T < 65 Ω	
Portugal 10 à 30 kV	impédance de limitation	séparées sauf si R _T < 1 Ω	R _p < 20 Ω
aérien	Id ≤ 300 A		
souterrain	Id ≤ 1 000 A		
USA 4 à 25 kV	direct à la terre ou par faible impédance Id = quelques kA	reliées	les terres du poste source, du poste MT/BT et du neutre BT sont reliées

fig. 10 : exemples relatifs à la distribution publique - SLT MT.

pays	SLT BT	observations
Allemagne 230/400 V	TN-C et TT	le TN est le plus utilisé ; R _T doit être < 2 Ω prise de terre chez l'abonné, même en TN
Belgique 230/400 V	TT	R _u < 100 Ω DDR 30 mA pour les prise de courant
Espagne 230/400 V	TT	R _u < 800 Ω avec DDR 30 mA en tête d'installation
France 230/400 V	TT	R _u < 50 Ω, (100 Ω prochainement) DDR 30 mA pour les prises de courant
Grande Bretagne 240/415 V	TN-C et TT	les installations nouvelles sont en TN-C (15 % des installations sont en TN-C), la prise de terre (< 10 Ω) du neutre est fournie par le distributeur
Italie 230/400 V	TT	DDR avec IΔn fonction de R _u (IΔn < 50/R _u). Pour les abonnés sans prise de terre : DDR 30 mA
Japon 100/200 V	TT	R _u < 100 Ω, forte utilisation de DDR 30 mA pas de recherche d'équipotentialité
Norvège 230/400 V	IT	locaux en matériaux isolants et mauvaises prises de terre expliquent ce choix logement avec DDR 30 mA en signalisation. déclenchement du disjoncteur de branchement si 2 défauts
Portugal 120/240	TT	R _u < 50 Ω (100 Ω à partir de 1995).
USA 120/240	TN-C	mise du neutre à la terre chez l'abonné BT (toutes les prises de terre sont reliées jusqu'au poste source).

fig. 12 : exemples relatifs à la distribution publique dans le monde (abonnés BT) - SLT BT.

Le TN-C nécessite une recherche de l'équipotentialité coûteuse :

■ pour le distributeur :

□ aux USA, mise en place d'un conducteur supplémentaire tout le long de la distribution MT et BT avec mise à la terre tous les 400 m,

□ en Grande Bretagne, de multiples prises de terre sont installées sur le neutre du réseau BT public, ce qui dispense l'abonné d'avoir sa prise de terre,

□ en Allemagne, une prise de terre pour le neutre est réalisée juste en amont du branchement de l'abonné ;

■ pour l'abonné :

en général, connexion au conducteur de protection des structures métalliques du bâtiment et de toutes les canalisations métalliques.

En distribution BT industrielle et tertiaire

Les 3 SLT sont utilisés à des degrés divers dans tous les pays :

■ le schéma TN-C est surtout employé dans les pays anglo-saxons pour les installations étudiées et réalisées avec soin (adéquation DPCC/impédances de boucle) correspondant à des immeubles modernes où tout ce qui est métallique est relié au conducteur de protection et pour lesquels les risques d'explosion et d'incendie sont très faibles, (cf. NF C 15-100).

Il est aujourd'hui déconseillé dans les locaux équipés de systèmes électroniques communicants (réseaux informatiques, de GTC, GTP ou GTB) du fait que les courants dans le neutre, donc dans le PE, font varier les références de potentiel. Rappelons que le TNC ne peut être utilisé dès que la section des conducteurs actifs est $\leq 10 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$.

■ le schéma TN-S est aussi utilisé dans les pays anglo-saxons et son emploi est de plus en plus fréquent en France, notamment dans le tertiaire. Il nécessite un conducteur supplémentaire, impose également des études et une réalisation soignées, mais il est plus souple d'emploi ; il utilise des DDR pour la protection des personnes (dans le cas de câbles de grande longueur), pour la protection incendie ainsi que pour les extensions sans calcul de l'impédance de boucle.

Il reste que les courants de défaut d'isolement qui sont des courants de

court-circuit peuvent, si le PE est relié, dans la distribution, aux structures métalliques, créer des perturbations électromagnétiques préjudiciables au bon fonctionnement des équipements électroniques (somme des courants dans le câble non nulle et courants "vagabonds").

Enfin, le neutre n'étant pas protégé dans certains pays, (disposition autorisée par la norme CEI 364)..., celui-ci peut être détérioré par surintensité notamment lorsque des récepteurs générant des courants harmoniques de rang 3 et multiples sont alimentés par le réseau. Ceci conduit, dans certains cas, à doubler la section du neutre (vu aux USA)... A terme, la normalisation internationale devrait prescrire la protection systématique du neutre, voire la protection (sans coupure) du PEN en TN-C.

■ le schéma IT nécessite autant de sérieux que le schéma TN-S. La surveillance permanente de l'isolement permet la prédiction du défaut, aujourd'hui facilitée par les systèmes numériques qui permettent de suivre dans le temps l'évolution de l'isolement départ par départ.

Il nécessite la recherche et l'élimination du défaut et donc, de préférence, la présence d'électriciens sur le site.

Dans quasiment tous les pays, le neutre isolé est utilisé chaque fois que la continuité de service est importante ou que la vie des personnes est en jeu (hôpitaux par exemple).

■ le schéma TT est le plus simple à mettre en œuvre, les courants de défaut d'isolement sont 1 000 fois plus faibles qu'en TN ou IT (2^e défaut) d'où son intérêt vis-à-vis des risques

incendie, explosion, dégâts matériels et perturbations électromagnétiques. Son point faible est le risque de claquage en retour lors d'un défaut d'isolement dans le poste côté MT si le courant de défaut homopolaire est important et si les masses du poste et du neutre sont reliées.

Il n'existe pas de statistique sur l'emploi des SLT dans le monde, mais le SLT TT est de loin le plus utilisé. C'est par ailleurs, le régime certainement le mieux adapté aux pays en voie de développement (simplicité). Après ces quelques considérations sur les trois SLT officiels, il est intéressant d'examiner leur mise en œuvre particulière dans quelques pays.

les SLT des réseaux BT privés dans quelques pays

Aux USA

Les différents SLT sont utilisés : le TN-S (cf. fig. 13) est le plus employé, mais l'IT et l'IT impédant sont utilisés dans les usines à process.

■ deux particularités importantes dans la mise en œuvre du TN-S :

□ le neutre est non protégé et non coupé, ce qui peut présenter des risques pour les personnes ou les biens :

- le potentiel du neutre par rapport à la terre peut être élevé en cas de défaut prenant son origine au niveau MT, ce qui est dangereux,

- les courants harmoniques de rang 3 et multiples de 3 s'additionnent dans le neutre et peuvent provoquer des échauffements inadmissibles ;

□ le conducteur de protection est souvent constitué par le chemin de câble et les tubes métalliques acheminant les conducteurs actifs :

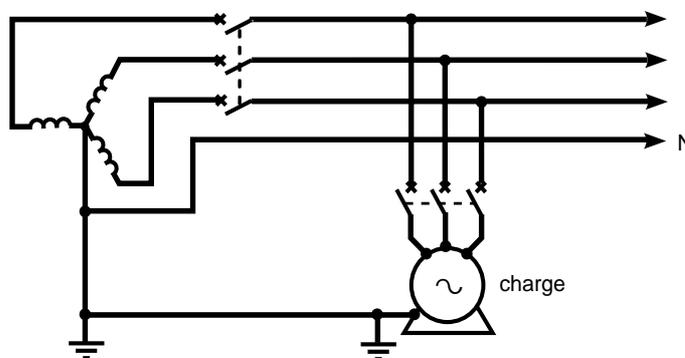


fig. 13 : schéma du SLT TN-S aux USA.

- l'impédance de ce PE est difficile à maîtriser, ainsi le NEC § 230-95 (National Electrical Code) considère que les DPCC ne garantissent pas toujours la sécurité en cas de défaut d'isolement,

- le PE n'étant pas lié mécaniquement au conducteur actif défaillant (câbles sur chemin de câble qui sert de PE), les efforts électrodynamiques dus au fort courant de défaut écartent le câble de son support, (les réseaux BT américains sont très puissants). Ceci provoque un défaut intermittent avec, pour conséquence, un risque de non fonctionnement des DPCC et une augmentation du risque incendie.

A noter que lorsque le PE est un conducteur distribué, la mise à la terre du neutre du transformateur est quelquefois réalisée à travers une faible impédance, ceci pour limiter les I^2t au point de défaut ($I_d \leq 1\ 000\ A$).

■ protections utilisées en TN-S
Outre l'emploi des DPCC, rappelons que dans l'esprit américain les protections "de terre" utilisées ont essentiellement pour objet la protection des biens et la limitation du risque incendie.

Dans ce domaine le NEC impose le minimum, c'est-à-dire l'utilisation de protections différentielles sur les installations BT lorsque les 3 conditions suivantes sont remplies :

- neutre directement mis à la terre,
- tension simple supérieure à 150 V et inférieure à 600 V,
- intensité nominale de l'appareil de tête supérieure à 1 000 A ;

□ mise en œuvre des DDR
Cette protection peut être effectuée de 3 manières :

- "Residual Sensing" : (détection de courant résiduel par addition vectorielle des courants dans les conducteurs actifs), (cf. fig. 14). Ce montage, dit de Nicholson, nécessite l'installation d'un transformateur de courant sur le neutre, le neutre étant aux USA non coupé et non protégé.

- "Source Ground Return" : (dispositif différentiel résiduel placé dans la liaison neutre-terre), utilisable uniquement en tête d'installation; il permet la mise en parallèle des sources (cf. fig. 15).

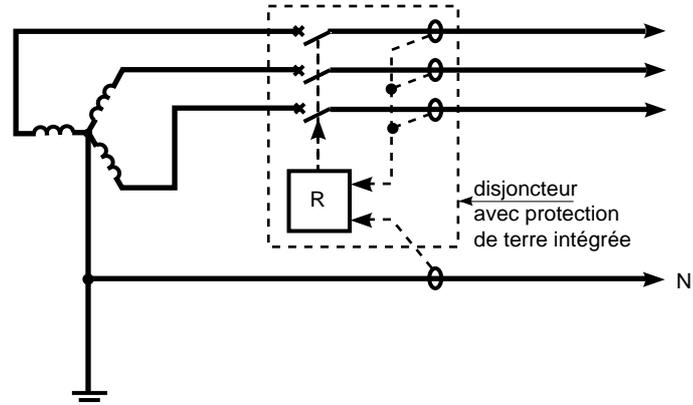


fig. 14 : residual sensing.

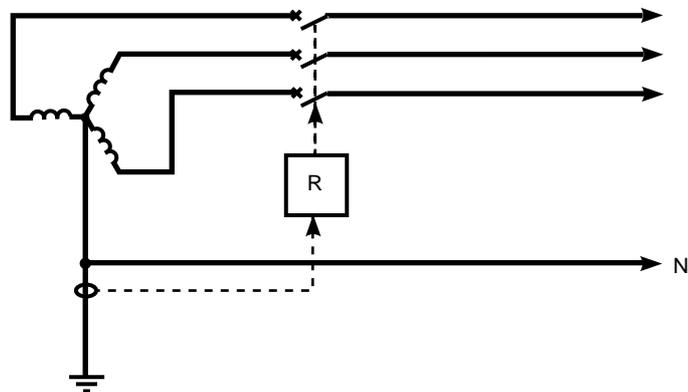


fig. 15 : source ground return.

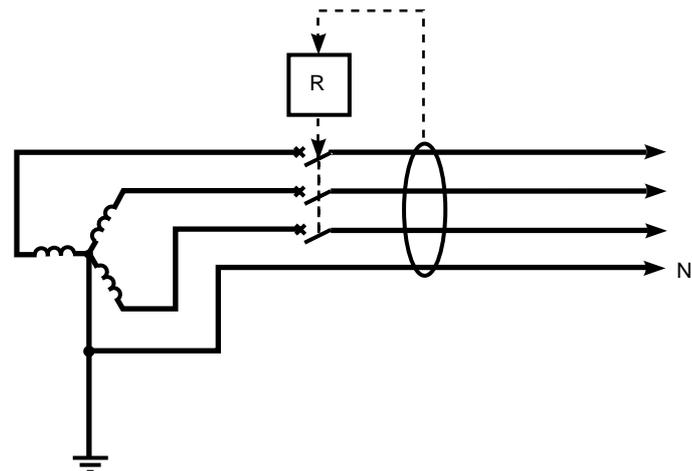


fig. 16 : zéro séquence.

- "Zéro séquence" : (DDR classique) ; il permet de détecter des courants faibles, et peut être employé à différents niveaux de l'installation pour réaliser une protection sélective (cf. fig. 16).

□ réglages du dispositif de tête :

- seuil maxi : 1 200 A,
- temps de déclenchement : il ne doit pas dépasser 1 s pour un courant de défaut de 3 000 A.

Nota

Le NEC ne précise pas de temps de déclenchement à 1 200 A, mais il est d'usage de mettre en place des protections avec des seuils plus bas et les plus instantanées possible.

■ sélectivité des protections différentielles

La NEC 230 § 95 n'impose la protection terre que pour l'appareil de tête. Bien évidemment, il est nécessaire d'installer aussi cette protection en aval afin d'éviter la mise hors service de l'installation complète en cas de défaut terre.

Il est alors nécessaire aussi d'assurer la sélectivité entre les différentes protections. Ce problème peut être réglé de deux manières :

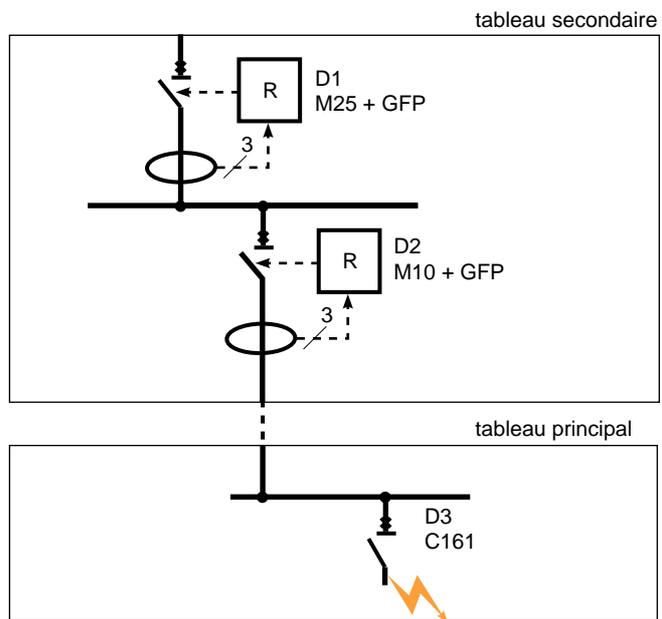
- entre les protections terre avec une sélectivité :
 - chronométrique par temporisation de 0 à 1 s,
 - logique ou "Zone Sélective Interlocking" recommandée aux USA, elle permet d'éviter d'avoir des temporisations longues (réduction du I^2t traversant) et de réaliser facilement la sélectivité sur 3 niveaux ou plus.

□ entre protection terre et magnéto-thermique

La sélectivité sera déterminée par la comparaison du seuil de réglage de la protection terre amont avec la courbe $I = f(t)$ du réglage magnéto-thermique de la protection aval (cf. fig. 17).

L'économie d'emploi de protections de "terre" dans les divisionnaires est faite au détriment du seuil de fonctionnement des protections et donc des risques de détérioration plus importants.

a)



b)

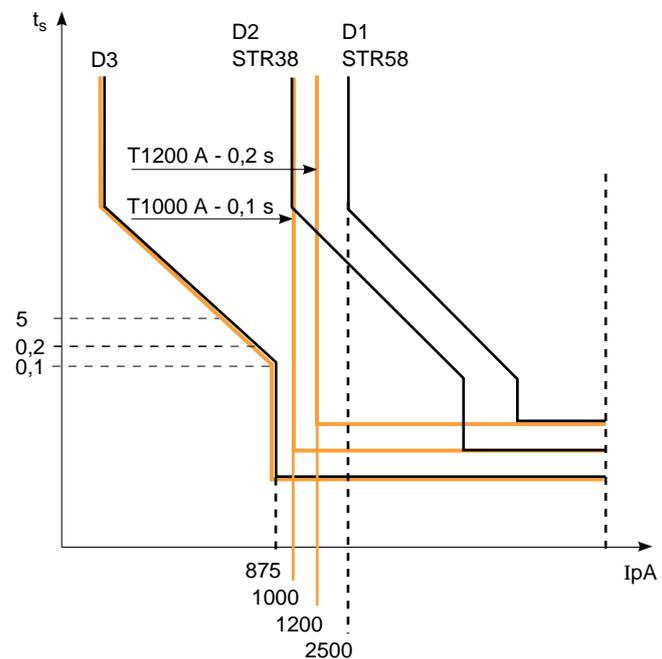


fig. 17 : sélectivité entre protection contre les courts-circuits aval (D3) et protections de terre (GFP) amont, en orange.

En République Sud Africaine

En RSA, les installations électriques industrielles et tertiaires sont réalisées selon les normes CEI.

Les trois régimes du neutre sont utilisés, avec une prédominance du TN-S.

Pays minier, la RSA utilise dans les mines d'or, par exemple, un SLT mi-TN-S, mi-TT (cf. fig. 18), les protections mises en œuvre étant des DDR.

Caractéristiques de ce SLT :

- le conducteur de protection est distribué ;
- les masses des récepteurs sont reliées au PE qui est mis à la terre au niveau du poste MT/BT ;
- une résistance placée entre le neutre du transformateur et la prise de terre limite le courant de défaut d'isolement à moins de 20 A.

Ce schéma a des avantages et des inconvénients :

■ avantages :

- une tension de contact faible malgré l'emploi d'une tension réseau 525/900 V,

$$\frac{U_0 \cdot R_{PE}}{R_{PE} + R_{Ph} + 27 \Omega}$$

- un courant de défaut faible, donc une forte limitation des risques d'incendie et des détériorations des récepteurs en défaut,

□ une protection sélective par DDR avec utilisation de la sélectivité chronométrique.

A noter que l'emploi de DDR est d'autant plus intéressant que la topologie du réseau BT est en perpétuelle évolution (impédance de boucle !).

■ inconvénients :

En cas de claquage HT/BT dans le transformateur, il y a risque d'élévation du potentiel des conducteurs actifs du réseau BT par rapport à la terre et aux

masses ($I_{h_{MT}} \cdot R$) ; un limiteur de surtension réduit ce risque.

Par ailleurs un relais différentiel placé sur le circuit neutre/terre, provoque l'ouverture instantanée du disjoncteur MT s'il détecte un courant de défaut supérieur à 20 A.

■ disposition complémentaire

La résistance de limitation est surveillée par un relais ohmique :

- si la résistance est coupée : le SLT devient un IT ; l'exploitation peut continuer mais il y a ouverture d'un départ en cas de défaut double par DDR,
- si la résistance est en court-circuit, le SLT devient TN-S et le premier défaut d'isolement provoque l'ouverture d'un disjoncteur BT, à moins, bien sûr, que le service électrique de maintenance ait agi à temps.

Comparativement au schéma TT ou TN-S classique, ce SLT est meilleur lorsque la tension U_0 est supérieure à 400 V (ce qui est le cas dans les mines) car il limite la tension de contact.

Le souci de limiter les courants de défaut d'isolement est assez général avec des motivations diverses :

- puissance de court-circuit importante : USA ;

■ impédance de boucle incertaine : mines chantiers ;

■ limitation des dégâts et/ou risque incendie : process - mines - pétrochimie (A noter que British Petroleum (BP) réalise toutes ses installations dans le monde en utilisant le TN-S impédant (idem fig. 18) avec une résistance de 3 Ω en BT et 30 Ω en 3,2 kV).

En Chine

La Chine s'éveille! mais elle a longtemps été sous l'influence technique de l'URSS, qui est membre de la CEI (le russe est une des langues officielles de la CEI avec l'anglais et le français).

De ce fait, les trois SLT sont connus et utilisés à des degrés divers :

- l'IT est utilisé lorsque la continuité de service est importante ainsi que lorsque le risque pour les personnes est réel (hôpitaux) ;
- le TT utilisé en distribution publique, l'est aussi dans l'industriel et le tertiaire mais de moins en moins, peut-être à cause de la faible utilisation de la sélectivité chronométrique ;
- le TN-C, qui était d'origine URSS, n'est plus du tout employé ;
- le TN-S est de plus en plus souvent choisi par les "Design institutes" pour les gros projets.

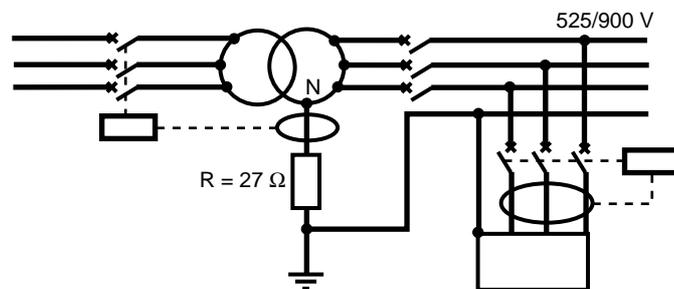


fig. 18 : SLT utilisé en RSA.

3. évolutions et choix des SLT

évolution des installations électriques

En **1960** le secteur tertiaire était très peu développé; les usines, généralement importantes, étaient souvent installées à proximité des postes sources.

Les industriels avaient comme principal souci le fonctionnement des process; disposant d'un service électrique compétent, ils allaient être séduits par le neutre isolé (le décret du 14 novembre 1962 a fortement participé à sa promotion).

Petit à petit, la sécurité qu'apporte ce régime l'a fait adopter par le législateur dans les installations tertiaires où la sûreté était primordiale : ex. hôpitaux.

En **1990**, l'énergie électrique fait tout fonctionner dans les logements, le tertiaire et l'industrie.

La distribution publique a fait de gros progrès en terme de disponibilité de l'énergie électrique mais celle-ci n'est pas toujours suffisante d'où l'utilisation de groupes électrogènes et d'alimentation sans interruption :

- le résidentiel n'accepte plus les coupures de courant ;
- le tertiaire est gros consommateur d'informatique ;
- l'industrie s'installe en zone rurale, est grosse consommatrice d'automatismes et utilise de plus en plus de convertisseurs statiques; par exemple, les moteurs sont pilotés par un variateur de vitesse et liés fonctionnellement à un automate.

De plus en plus et dans tous les bâtiments, des appareils "intelligents" sont pilotés par des systèmes de gestion technique (process- distribution électrique - utilités du bâtiments).

Ces systèmes numériques, y compris l'informatique répartie, exigent aujourd'hui de faire cohabiter sans gêne courant fort et courant faible, en d'autres termes la compatibilité

électromagnétique (CEM) est indispensable.

C'est le choc des cultures techniques :

- l'électricien est gêné par les harmoniques générées par les convertisseurs statiques. Ces harmoniques provoquent des échauffements des transformateurs, la destruction des condensateurs, des courants anormaux dans le neutre ;
- l'électronicien met des filtres devant ses produits, lesquels ne résistent pas toujours aux surtensions et font baisser l'isolement des réseaux ;
- le fabricant de lampes ignore les problèmes que peuvent poser les courants de mise sous tension, les harmoniques, les hautes fréquences générées par certains ballasts électroniques ;
- l'informaticien (idem pour les concepteurs de systèmes à intelligence répartie) s'inquiète de l'équipotentialité des masses et des parasites conduits et rayonnés.

Ces spécialistes ont quelquefois du mal à se comprendre, n'ont pas nécessairement des démarches cohérentes... et peu nombreux sont ceux qui connaissent les SLT, leurs avantages et leurs inconvénients face à l'évolution des techniques évoquées ci-avant.

SLT et perturbations des systèmes électroniques

Les perturbations électromagnétiques sont de nature très variées; elles peuvent être :

- permanentes ou occasionnelles ;
- basse ou haute fréquence ;
- conduites ou rayonnées ;
- de mode commun ou de mode différentiel ;
- d'origine externe ou interne au réseau BT.

Le choix du SLT n'est pas neutre vis-à-vis :

- de la sensibilité aux perturbations ;
- de la génération des perturbations ;
- des effets sur les systèmes courants faibles.

Pour le lecteur, qui désire approfondir ses connaissances dans ce domaine, signalons les Cahiers Techniques :

- n° 149 - La Comptabilité Electromagnétique - CEM - ;
 - n° 141 - Les perturbations électriques en BT ;
 - n° 177 - Les SLT et les perturbations électromagnétiques
- Nous ne rappelons ici que l'essentiel, sans revenir sur le comportement des SLT vis-à-vis des défauts (50 Hz) d'origine MT.

Face aux harmoniques

Le TNC est à éviter car les harmoniques de rang 3 et multiples de 3 circulent dans le PEN (en plus du courant de neutre) et font que celui-ci ne peut être utilisé comme référence de potentiel pour les systèmes électroniques communicants (systèmes à intelligence répartie).

De plus si le PEN est relié aux structures métalliques, celles-ci, ainsi que les câbles électriques, deviennent des perturbateurs électromagnétiques.

Nota

Le TNC-S (TN-S en aval d'un TN-C) est aussi à éviter même si les risques sont plus faibles.

Face aux courants de défaut

- courts-circuits : éviter de séparer les conducteurs actifs, sinon l'Icc créée, par la boucle ainsi réalisée, une impulsion électromagnétique ;
- défaut à la masse électrique : le PE doit suivre au plus près les conducteurs actifs, ou mieux, être dans le même câble multi conducteurs sinon, comme ci-dessus, l'effet de boucle émettrice apparaît. Cet effet est d'autant plus important que le courant de défaut est élevé, donc avantage au SLT TT, les SLT TN et IT (2^e défaut) peuvent développer des courants 1 000 fois plus importants.

En TN et IT il faut éviter de relier le PE aux masses métalliques en différents endroits dans le bâtiment car les courants de retour peuvent prendre des chemins variés et se transformer en antenne émettrice. Il en va de même d'ailleurs pour le câble de puissance, intégrant le PE, dans lequel la somme des courants n'est plus nulle.

En ce qui concerne l'équipotentialité des masses, le TN et l'IT (au 2^e défaut) sont équivalents car le potentiel de la masse au point de défaut monte brutalement à $\approx U_0/2$ alors qu'il reste à 0 V à l'origine de l'installation.

Ceci conduit certains spécialistes à prescrire en TN et IT la réalisation d'un circuit de masse courant faible séparé du circuit de terre (PE), les deux étant reliés à la prise de terre à l'origine de l'installation BT.

Le TT avec PE distribué dans toute l'installation est de ce point de vue le meilleur (Id faible et même référence de potentiel pour tous les équipements communicants), (cf. fig. 19).

Face aux surtensions de foudre et de manœuvre

Ces surtensions, de mode commun ou de mode différentiel et de fréquence 1 kHz à 1 MHz peuvent endommager certains appareils électroniques si leur alimentation ne comporte pas de transformateur d'isolement à faible couplage capacitif primaire/secondaire. Vis-à-vis des surtensions de mode différentiel, tous les SLT sont équivalents ; la solution consiste :

- à mettre en œuvre des réducteurs de surtension au niveau des éléments perturbateurs (exemple RC sur bobine de contacteur) ;
- à protéger les matériels sensibles en installant directement à leurs bornes un limiteur de surtension (varistance, parafoudre ZnO).

Vis-à-vis des surtensions de mode commun (foudre), il convient d'installer des parafoudres ZnO à l'origine de l'installation BT avec des connexions à la terre les plus courtes possibles. Ici les SLT TN et TT peuvent apparaître comme meilleur que l'IT

mais les surtensions arrivent aussi sur les phases BT ; en effet, aux fréquences considérées, l'impédance phase/neutre des enroulements BT est très élevée (les phases sont "en l'air" par rapport à la terre même si le neutre est relié à la terre).

Face aux perturbations HF

Tous les SLT sont équivalents.

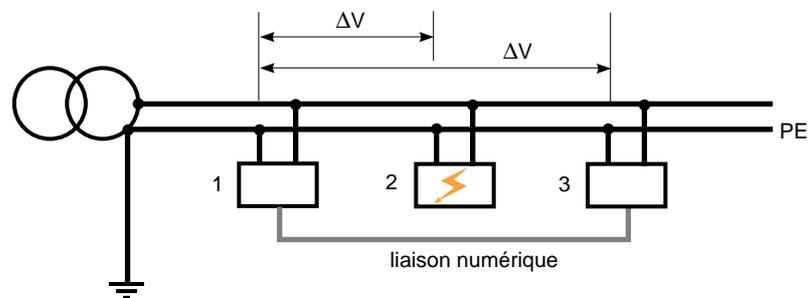
Ce qui est souhaitable pour minimiser les effets des perturbations HF :

- utiliser l'effet cage de Faraday pour le bâtiment (structures métalliques et

planchers maillés) ou pour certains locaux du bâtiment réservés aux équipements sensibles :

- découpler le réseau de masses (de structure et fonctionnelles) du réseau de terre (PE) ;
- éviter les boucles que peuvent former les circuits courants forts et courants faibles des appareils communicants ou placer sous "effet réducteur" les liaisons courants faibles (plans de masse - gaines/écrans métalliques - masses d'accompagnement) ;
- éviter de les faire cheminer à proximité des câbles de puissance et croisement à 90° ;

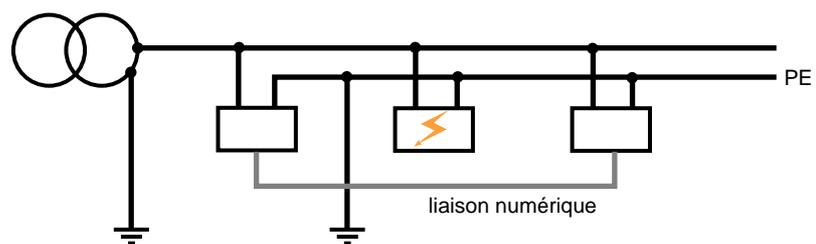
a)



En TN : lors du défaut d'isolement, la chute de tension dans le PE fait varier le potentiel de référence des appareils communicants.

Les masses des appareils 2 ; 3... sont au potentiel $\approx \frac{U_0}{2}$ alors que les appareils près de la source sont au potentiel de la terre.

b)



En TT : avec une seule prise de terre des masses des récepteurs, toutes les masses sont au même potentiel, même pendant un défaut ; pas de perturbations des communications par bus.

fig. 19 : équipotentialité du PE lors d'un défaut d'isolement.

■ utiliser des câbles torsadés, mieux, torsadés blindés.

Les normes sont encore rares dans ce domaine et souvent préparées (normes CEM) par des électroniciens. La norme d'installation CEI 364 sections 444 et 548 doit donner de plus en plus de recommandations.

évolution des SLT

Evolution du TN

Ce régime du neutre visait à l'origine la simplicité, l'efficacité et le coût d'installation minimum (cf. le TN américain où le neutre n'est même pas protégé).

La sécurité des personnes est assurée, celles des biens (incendie, détérioration des matériels électriques) l'est moins. La prolifération de l'électronique de puissance et à courant faible augmente et va augmenter encore la complexité de sa mise en œuvre.

Issu du TT des années 20, le TN a été la solution pour maîtriser la valeur des courants de défaut et s'assurer que tout défaut d'isolement pouvait être éliminé par un DPCC.

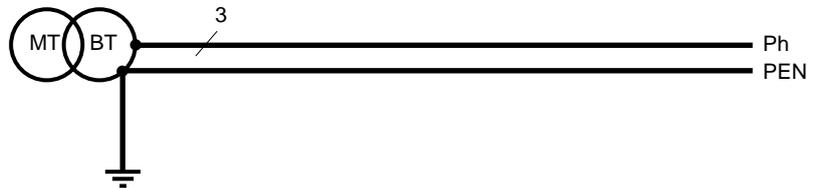
Il s'est développé dans les pays anglo saxons où la rigueur des concepteurs d'installation et des exploitants est bonne.

L'évolution logique est TN-C → TN-C-S → TN-S → TN-S avec limitation du courant de défaut pour limiter les risques d'incendie, les détériorations des récepteurs et les dysfonctionnements dus à la généralisation de l'électronique distribuée (cf. fig. 20).

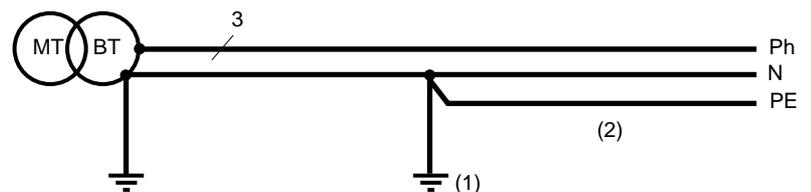
Une enquête réalisée en Allemagne en 1990 a montré que 28 % des problèmes électriques (électronique) étaient dus à la CEM.

En terme de protection, le régime TN utilise souvent des fusibles, déjà gênés par un temps de coupure trop long lorsque la tension limite de sécurité U_L est de 25 V ; ceux-ci le seront encore plus à long terme si les réseaux BT de tension supérieure au 230/400 V se développent. L'emploi de DDR (TN-S impédant) résout ce problème.

a) SLT TN-C



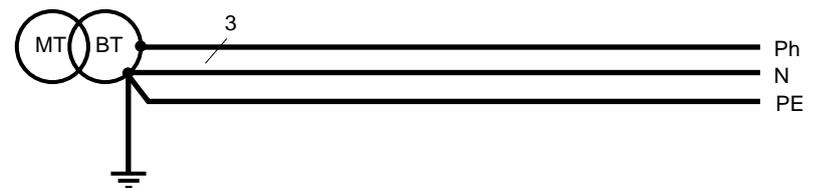
b) SLT TN-C-S



(1) nouvelle prise de terre souhaitable si le transformateur est éloigné (distribution publique), améliore l'équipotentialité locale par rapport à la terre ; solution utilisée en Allemagne et en expérimentation en France (en DP).

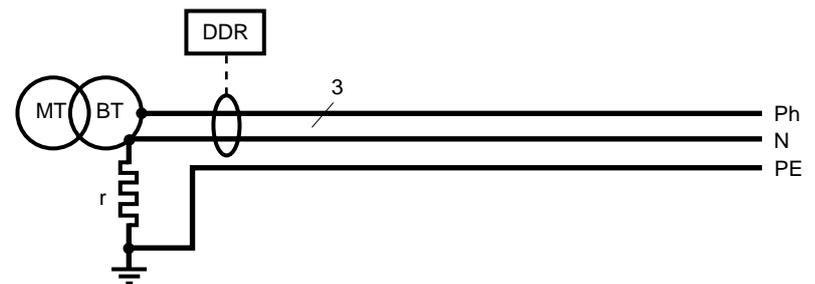
(2) en France, la norme C 15-100 exige le passage en TN-S lorsque la section des conducteurs est $\leq 10 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$.

c) SLT TN-S



Evite les perturbations de l'équipotentialité dues à la circulation du courant de neutre et des harmoniques 3K dans le PEN.

d) SLT TN-S impédant



Solution utilisée aux USA (Id de l'ordre de 500 A) en RSA, ($I\Delta \simeq 20 \text{ A}$) ; limitation du risque incendie, des détériorations et des problèmes de référence de potentiel pour l'électronique distribuée.

Ce régime du neutre se rapproche du SLT TT.

fig. 20 : évolution du TN.

Evolution de l'IT

Les premières installations électriques (1920) étaient réalisées en IT, mais très rapidement les défauts doubles l'ont discrédité (non maîtrise des impédances de boucle).

La normalisation l'a officialisé dans les années 60 pour faire face aux impératifs de continuité d'alimentation des industries à process et de sécurité dans les mines.

Aujourd'hui le régime IT est très proche du TN-S en terme d'installation (un limiteur de surtension et un contrôleur d'isolement en plus).

C'est le champion de la continuité d'exploitation et de la sécurité au premier défaut, si celui-ci est recherché et éliminé rapidement !

Après la généralisation du PE distribué dans toute l'installation (comme en TN) ce régime, pour lequel le courant de deuxième défaut ne peut être limité, ne devrait pas évoluer si ce n'est au niveau des techniques de recherche rapide du défaut.

La probabilité de défaut double augmentant avec le nombre de départs et l'étendue de l'installation, son emploi devrait être réservé à des parties de réseau, aux circuits de contrôle-commande avec bien sûr utilisation de transformateurs d'isolement (cf. fig. 21). Sur ces circuits, peu étendus, l'emploi de l'IT impédant autorise l'emploi de DDR en signalisation pour la localisation du défaut.

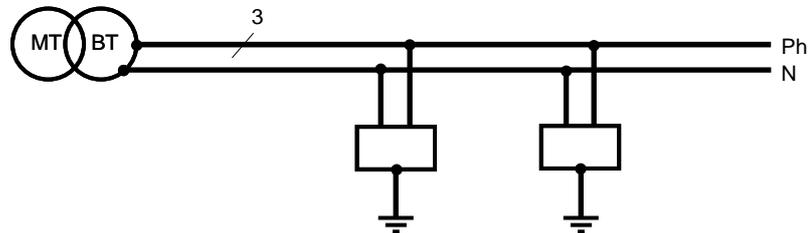
Evolution du TT

A l'origine, la distribution électrique, en France, se faisait en 110 V monophasé, puis l'alimentation s'est faite en 220 V biphasé. La mise à la terre des masses, associée à la mise en œuvre de DDR, avait pour but de mettre hors tension les abonnés ayant un défaut d'isolement et les fraudeurs. Le souci de protéger les personnes contre les contacts indirects est venu avec le développement du gros électroménager.

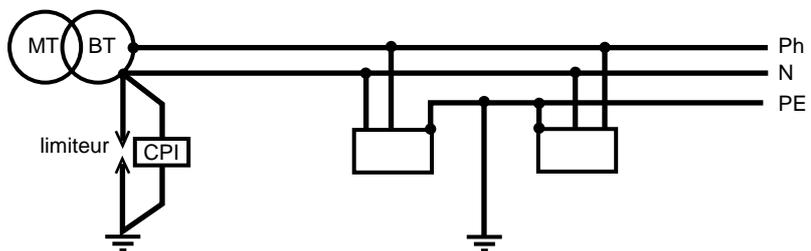
La protection contre les contacts indirects par DDR avec des temps de fonctionnement normés a été officialisée dans les années 60.

Aujourd'hui, la tendance est (comme en TN et IT) de distribuer le PE dans toute l'installation et donc à n'utiliser qu'une prise de terre des utilisations (cf. fig. 22).

a) à l'origine

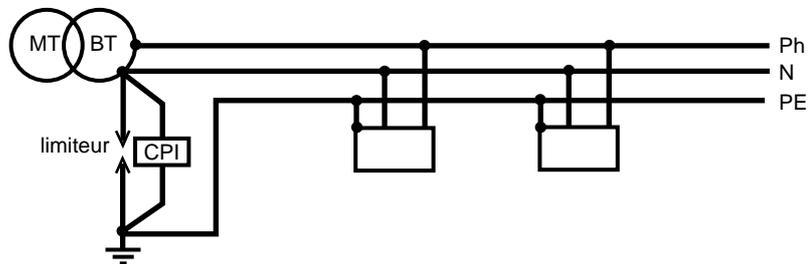


b) en 1960



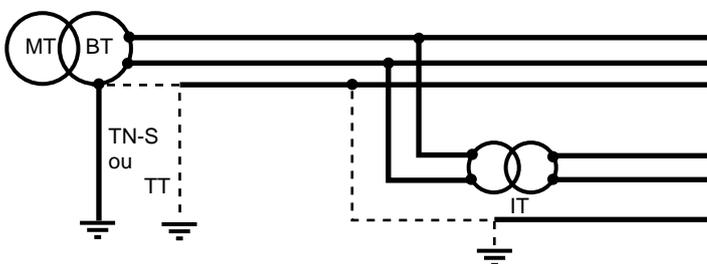
Limitation du nombre de prises de terre et interconnexion des masses ou emploi de DDR pour maîtriser le défaut double.

c) 1990



Rapprochement avec le TN-S (PE distribué, calcul des impédances de boucle).

d) 2000



L'IT est surtout utilisé sur de petits réseaux ou parties de réseaux en aval des régimes TN ou TT.

fig. 21 : évolution de l'IT.

Cette tendance devrait se poursuivre par l'utilisation de la seule prise de terre du neutre BT (comme en TN et IT) mais en conservant l'avantage (dégâts, incendie, CEM) d'un courant de défaut d'isolement faible.

choix du SLT

Le choix du SLT devrait être influencé par les utilisateurs de l'énergie électrique et par les exploitants du réseau (le service électrique). L'expérience montre que le choix est surtout fait par le bureau d'étude, concepteur de l'installation.

Pour l'utilisateur et l'exploitant

L'utilisateur et l'exploitant réclamant la SURETE totale, l'énergie électrique doit être toujours disponible et ne présenter aucun risque, donc "se faire oublier". Les composantes de la sûreté de l'installation :

- la sécurité ;
- la disponibilité ;
- la maintenabilité doivent donc être optimisées.

De plus, et c'est nouveau, l'électricité ne doit pas perturber les nombreux équipements courant faible.

Ce sont ces critères qui permettent de faire le meilleur choix en fonction :

- du type de bâtiment ;
- de l'activité qu'il abrite ;
- de la présence ou non d'un service électrique.

En terme de sécurité, le TT est le meilleur,

En terme de disponibilité c'est l'IT qui est le mieux adapté,

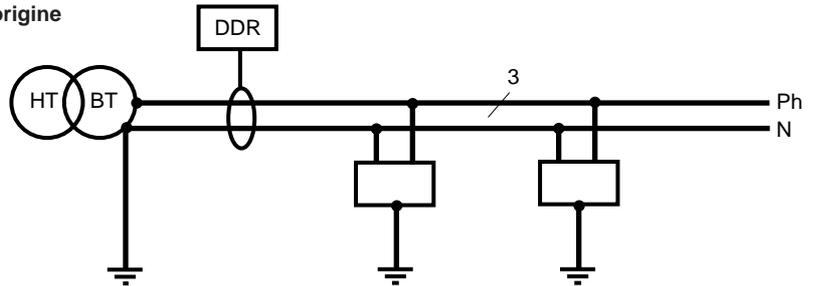
En terme de maintenabilité la localisation du défaut est rapide en TN (action du DPCC) mais le temps de réparation est souvent élevé. A l'inverse, en IT, la localisation du premier défaut peut être plus difficile mais la réparation est plus rapide et moins onéreuse.

Le TT est un bon compromis.

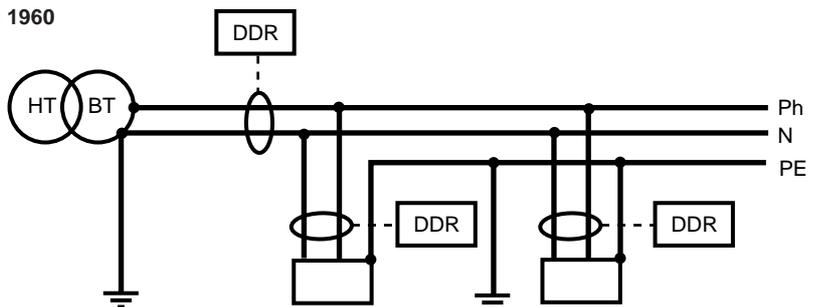
En terme de fiabilité, les matériels de protection mis en œuvre sont fiables, mais la fiabilité de l'installation et des récepteurs peut être affectée :

- en TN-C par le fait que le PEN, non protégé, peut être détérioré par les courants harmoniques ;
- en TN-C et TN-S ;
- par le manque de rigueur lors d'extensions,

a) à l'origine

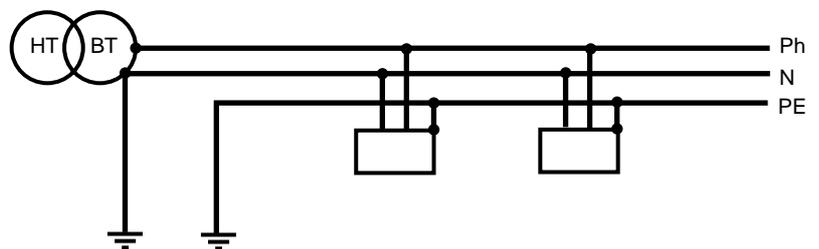


b) en 1960



Multiples DDR avec sélectivité chronométrique, équipotentialités locales et minimisation du nombre de prises de terre.

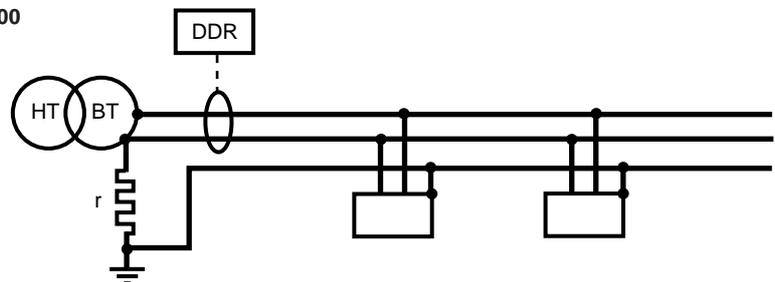
c) en 1990



Même utilisation des DDR. PE distribué comme en TN-S et IT.

Dans certaines installations, les deux prises de terre sont reliées... c'est du TN-S sans calcul d'impédance, vu l'emploi de DDR.

d) 2000



Pour conserver l'avantage du faible courant de défaut (dégâts et CEM) apparition d'un TT impédant ($r \approx 12 \Omega / I_d = 20 \text{ A}$) avec une seule prise de terre. Ce schéma nécessite l'utilisation d'un limiteur de surtension si le courant homopolaire MT dépasse $\approx 80 \text{ A}$ - même emploi des DDR (sélectivité chronométrique).

fig. 22 : évolution du TT.

□ par la mise en œuvre de sources de remplacement (ex. EJP) à puissance de court-circuit faible,

□ par les effets des efforts électrodynamiques.

■ en IT, en cas de défaut double, les risques inhérents au TN exprimés ci-dessus existent aussi, par contre si la recherche et l'élimination du 1^{er} défaut sont rapides, la fiabilité de l'installation est très bonne,

■ en TT, par le claquage en retour des récepteurs dû à un défaut dans le transformateur HT/BT, mais la probabilité d'apparition (l'occurrence) de ce défaut est faible et des parades existent, par exemple, mise en œuvre d'un parafoudre entre les conducteurs actifs et la prise de terre des récepteurs.

En terme de perturbations, le TT est à préférer au TN-S dont les forts courants de défaut peuvent être perturbateurs.

Le tableau de la figure 23 rappelle les points forts et les points faibles de chaque SLT.

Pour le concepteur de l'installation

L'étude est plus simple en TT, idem lors d'une extension (pas de calculs); elle est d'une complexité équivalente en TN-S et IT.

Sur le plan des coûts :

■ le TN-S est le moins coûteux à l'installation, par exemple si le neutre n'est ni protégé, ni coupé, mais attention au coût de la maintenance curative ;

■ l'IT est un peu plus coûteux à l'installation, (matériel de contrôle de l'isolement et de recherche de défaut).

La recherche de la meilleure disponibilité de l'énergie électrique nécessite la disponibilité d'un électricien, dont l'action va minimiser la maintenance curative.

■ le TT, si des DDR sélectifs sont installés en nombre suffisant est un peu plus coûteux à l'installation que l'IT, mais la localisation du défaut est simple et la maintenance curative moins coûteuse qu'en TN.

En terme de coût complet sur 10 à 20 ans, les trois SLT sont équivalents.

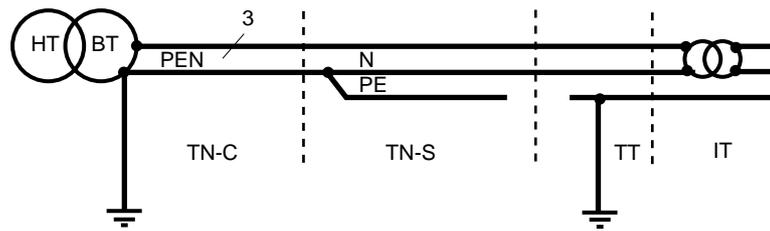
	TN-C	TN-S	TT	IT(1)	IT(2)	Observations
sécurité						
■ des personnes	+	+	+	++	-	Uc # 0 au 1 ^{er} défaut en IT
■ incendie	--	-	+	++	-	TN-C déconseillé
■ explosions	--	-	+	++	-	TN-C interdit
disponibilité- (suite à 1 défaut)						
	+	+	+	++	+	fonction de la sélectivité des DPCC ou des DDR (plus facile à mettre en œuvre)
maintenabilité						
	-	-	+	++	-	l'IT autorise la maintenance préventive, voire prédictive
fiabilité de l'installation						
	-	+	++	++	+	avantage aux Id faibles (dégâts - efforts électrodynamiques)
perturbations						
■ émission de rayonnement EM	-	-	+	++	-	avantage aux Id faibles
■ équipotentialité du PE	--	+	++	+	+	attention aux harmoniques en TN-C

(1) : 1^{er} défaut d'isolement.

(2) : 2^e défaut.

fig. 23 : comparaison des SLT.

a) association "série" des SLT



b) association "antenne" des SLT

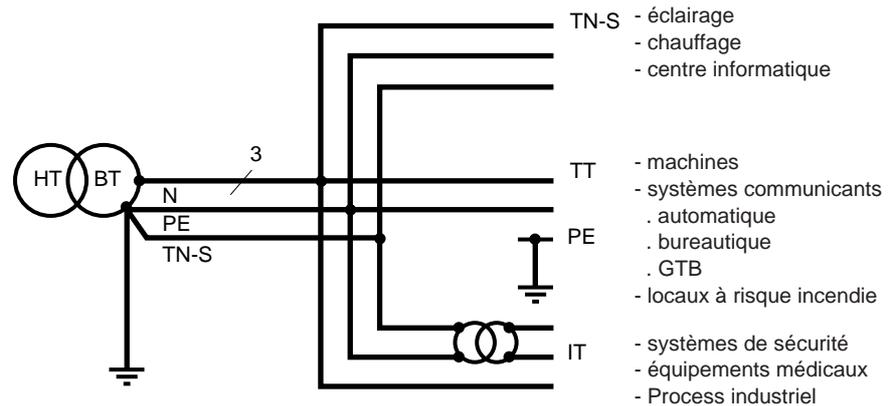


fig. 24 : coexistence de plusieurs SLT dans une installation BT.

Le bon choix

Dans un certain nombre de pays, pour certains bâtiments ou partie de bâtiment, le choix est imposé par le législateur ou le normalisateur, citons : les hôpitaux, les écoles, les marinas, les chantiers, les mines etc. Dans d'autres cas, certains SLT sont interdits, par exemple le TN-C dans les locaux à risque d'explosion.

Hormis ces choix imposés, ce sont les objectifs de SURETE (sécurité, disponibilité, fiabilité, maintenabilité et bon fonctionnement des systèmes communicants à courant faible) qui doivent permettre de déterminer quel est le SLT à retenir pour un type de bâtiment.

Le niveau de développement du pays est aussi un critère à prendre en compte, ainsi que les habitudes nationales, le climat... Si l'on trace un axe nord-sud, en ce qui concerne la distribution publique, on trouve le SLT IT en Norvège, TN-C en Allemagne, TT en France et dans la plupart des pays d'Afrique.

Dans les pays tempérés et industrialisés, les trois SLT sont utilisés dans les installations privées.

Il faut enfin noter que le mixage des SLT est possible (en série ou en antenne) et même souhaitable, (cf. fig. 24).

4. conclusion

Les trois SLT (TN, IT, TT) sont très bien définis, ainsi que leur mise en œuvre, par les normes d'installation (CEI 364, NF C 15-100...).

Leur emploi respectif varie en fonction des pays :

- majorité de TN dans les pays anglo-saxons ;
- TT souvent utilisé dans les autres pays ;
- IT utilisé lorsque la sécurité des personnes et des biens ainsi que la continuité de service sont importantes. Ils sont tous les trois réputés assurer la protection des personnes.

Deux évolutions importantes ont une influence non négligeable sur le choix d'un SLT :

- la recherche de la meilleure continuité de service ;

- la prolifération des appareils électroniques courant fort (perturbateurs) et courants faibles (perturbés), lesquels s'érigent de plus en plus en systèmes communicants. Ainsi la tendance générale au niveau des SLT est, tant en MT qu'en BT, de limiter les courants de défaut d'isolement.

Aujourd'hui les courants de défaut des SLT BT traditionnels sont en valeur typique :

- IT (1^{er} défaut) : $I_d \approx A < 1 \text{ A}$;
- TT : $I_d \approx 20 \text{ A}$;
- TN : $I_d \approx 20 \text{ kA}$;
- IT (2^e défaut) : $I_d \approx \text{de } 20 \text{ kA}$.

Limiter les courants de défaut :

- facilite la maintenabilité de l'installation électrique, et donc améliore la disponibilité ;

- minimise le risque incendie ;
- peut réduire la tension de contact ;
- et, pour les systèmes sensibles minimise les perturbations par rayonnement électromagnétique et impédance commune.

Vu la prolifération des systèmes numériques communicants (informatique, vidéo, automatique, GTB etc.), il est essentiel que les SLT procurent une référence de potentiel non perturbée par les forts courants de défaut et les harmoniques.

Ainsi, l'évolution devrait favoriser les SLT qui génèrent des courants de défaut ne dépassant pas quelques dizaines d'ampères.

Le SLT TT devrait donc être de plus en plus employé.

annexe n° 1 : la norme CEI 364

Cette norme, dont l'intitulé est : Installations électriques des bâtiments, comporte différents chapitres et sous-chapitres dont voici les principaux :

■ **364-1** - 1992

1^{re} partie : **Domaine d'application, objet et définitions fondamentaux** (NF C 15-100 - Partie 102).

■ **364-2-21** - 1993

2^e partie : **Définitions** - Chapitre 21 - Guide pour les termes généraux.

■ **364-3** - 1993

3^e partie : **Détermination des caractéristiques générales** (NF C 15-100 - Partie 3).

■ **364-4**

4^e partie : **Protection pour assurer la sécurité.**

□ **364-4-41** - 1992

Chapitre 41 : Protection contre les chocs électriques (NF C 15-100 - chapitre 41).

□ **364-4-42** - 1980

Chapitre 42 : Protection contre les effets thermiques (NF C 15-100 - chapitre 42).

□ **364-4-43** - 1977

Chapitre 43 : Protection contre les surintensités (NF C 15-100 - chapitre 43).

□ **364-4-45** - 1984

Chapitre 45 : Protection contre les baisses de tension (NF C 15-100 - chapitre 45).

□ **364-4-46** - 1981

Chapitre 46 : Sectionnement et commande (NF C 15-100 - chapitre 46).

□ **364-4-47** - 1981

Chapitre 47 : Application des mesures de protection pour assurer la sécurité - Section 470 : Généralités - Section 471 : Mesures de protection contre les chocs électriques (NF C 15-100 - 471).

□ **364-4-442** - 1993

Chapitre 44 : Protection contre les surtensions - Section 442 : Protection des installations à basse tension contre les défauts à la terre dans les installa-

tions à haute tension.

□ **364-4-443** - 1993

Chapitre 44 : Protection contre les surtensions - Section 443 : Protection contre les surtensions d'origine atmosphérique ou dues à des manœuvres.

□ **364-4-473** - 1977

Chapitre 47 : Application des mesures de protection pour assurer la sécurité - Section 473 : Mesures de protection contre les surintensités (NF C 15-100 - 473).

□ **364-4-481** - 1993

Chapitre 48 : Choix des mesures de protection en fonction des influences externes - Section 481 : Choix des mesures de protection contre les chocs électriques en fonction des influences externes.

□ **364-4-482** - 1982

Chapitre 48 : Choix de mesure de protection en fonction des influences externes - Section 482 : Protection contre l'incendie (NF C 15-100 - 482).

■ **364-5**

5^e partie : **Choix et mise en œuvre des matériels électriques.**

□ **364-5-51** - 1979

Chapitre 51 : Règles communes (NF C 15-100 - 51).

□ **364-5-51** - 1 - 1982

Modification à la publication 364-5-51 - 1979.

□ **364-5-51** - 2 - 1993

Modification à la publication 364-5-51 - 1979.

□ **364-5-53** - 1986

Chapitre 53 : Appareillage.

□ **364-5-53** - 2 - 1992

Modification à la publication 364-5-53 - 1986 (Mod. 1 - 1988 incorporée).

□ **364-5-54** - 1980

Chapitre 54 : Mises à la terre et conducteurs de protection (NF C 15-100 - Chapitre 54).

□ **364-5-54** - 1 - 1982

Modification à la publication 364-5-54 - 1980.

□ **364-5-56** - 1980 -

Chapitre 56 : Services de sécurité.

□ **364-5-523** - 1983

Chapitre 52 : Canalisations - Section 523 : Courants admissibles (NF C 15-100 - 523).

□ **364-5-537** - 1981

Chapitre 53 : Appareillage - Chapitre 537 : Dispositifs de sectionnement et de commande (NF C 15-100 - 537).

□ **364-5-537** - 1 - 1989

Modification à la publication 364-5-537 - 1981.

■ **364-6**

6^e partie : **Vérification**

□ **364-6-61** - 1986

Chapitre 61 : Vérification à la mise en service.

□ **364-6-61** - 1993

Modification à la publication 364-6-61 - 1986.

■ **364-7**

7^e partie : **Règles pour les emplacements spéciaux**

□ **364-7-701** - 1984

Section 701 : Locaux contenant une baignoire ou une douche.

□ **364-7-702** - 1983

Section 702 : Piscines.

□ **364-7-703** - 1984

Section 703 : Locaux contenant des radiateurs pour saunas.

□ **364-7-704** - 1989

Section 704 : Installations de chantiers.

□ **364-7-705** - 1984

Section 705 : Installations électriques dans les établissements agricoles et horticoles.

□ **364-7-706** - 1983

Section 706 : Enceintes conductrices exiguës.

□ **364-7-707** - 1984

Section 707 : Mises à la terre des installations de matériel de traitement de l'information.

□ **364-7-708** - 1988

Section 708 : Installations électriques des parcs de caravanes et des caravanes.

annexe n° 2 : bibliographie

Normes

- CEI 241 : Coupe-circuit à fusibles pour usages domestiques ou analogues.
- CEI 269 : Fusibles basse tension.
- CEI 364 : Installation électriques des bâtiments.
- CEI 479 : Effets de courant passant par le corps humain.
- NFC 15-100 : Installations électriques à basse tension.
- NFC 63-150 : Limiteurs de surtension : règles.
- NFC 63-080 : Dispositifs de contrôle permanent d'isolement et dispositifs de localisation de défauts associés.
- CEI 947-2 : Appareillage à Basse Tension - 2^e partie : Disjoncteurs.
- CEI 755 : Règles générales pour les dispositifs de protection à courant différentiel résiduel.

Décret français du 14.11.88

Cahiers Techniques

- Mise à la terre du neutre dans un réseau industriel HT, Cahier Technique n° 62
F. SAUTRIAU.
- Les dispositifs différentiels résiduels, Cahier Technique n° 114
R. CALVAS.
- Protection des personnes et alimentation sans coupure, Cahier Technique n° 129
J.-N. FIORINA.

- Les perturbations électriques en BT, Cahier Technique n° 141
R. CALVAS

- Introduction à la conception de la sûreté, Cahier Technique n° 144
P. BONNEFOI.

- La foudre et les installations électriques HT, Cahier Technique n° 168
B. DE METZ NOBLAT.

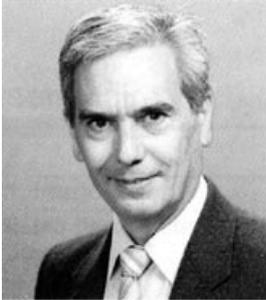
- Les schémas des liaisons à la terre dans le monde et évolutions, Cahier Technique n° 172
B. LACROIX et R. CALVAS

- Connaissance et emploi du SLT neutre isolé, Cahier Technique n° 178
E. TISON et I. HERITIER
(édition prévue fin 1995)

- Perturbations électriques dans les installations électriques BT et schémas des liaisons à la terre, Cahier Technique n° 177
R. CALVAS
(Edition prévue fin 1995).

Publications diverses

- Guide de l'installation électrique (partie G)
Ed. FRANCE IMPRESSION
CONSEIL 1991.
- Guide de l'ingénierie électrique
Ed. ELECTRA 1986.
- Electrical Review
novembre 1991 - octobre 1992.
- La protection différentielle
Cahier Technique J3E - 02/90



Roland CALVAS

Ingénieur ENSERG 1964 (Ecole Nationale Supérieure d'Electronique et Radioélectricité de Grenoble) et diplômé de l'Institut d'Administration des Entreprises, il est entré chez Merlin Gerin en 1966.

Lors de son parcours professionnel, il a été responsable commercial, puis responsable marketing de l'activité protection des personnes. Il est aujourd'hui en charge de la communication technique du groupe Schneider.



n° 177

**perturbations des
systèmes
électroniques et
schémas des
liaisons à la terre**

lexique

BT	Basse Tension.
CEI	Comité Electrotechnique International.
CEM	Compatibilité Electromagnétique.
CPI	Contrôleur Permanent d'Isolément.
DDR/HS	Dispositifs Différentiels Résiduels Haute Sensibilité ≤ 30 mA.
DDR/MS	Dispositifs Différentiels Résiduels Moyenne Sensibilité.
DDR/BS	Dispositifs Différentiels Résiduels Basse Sensibilité.
DLD	Dispositif de Localisation de Défaut.
DPCC	Dispositif de Protection contre les Courts-Circuits.
Electrisation	application d'une tension entre deux parties du corps.
Electrocution	électrisation qui provoque la mort.
$I\Delta n$	valeur de réglage du seuil de fonctionnement d'un DDR.
MT	Moyenne Tension (1 à 35 kV selon le CENELEC), en France HTA (1 à 50 kV).
SLT	Schémas des Liaisons à la Terre = régimes du neutre (voir aussi annexe).

perturbations des systèmes électroniques et schémas des liaisons à la terre

sommaire

1. introduction		p. 4
2. les perturbations d'origine externe au réseau BT	courants telluriques	p. 5
	courants de terre vagabonds 50 Hz	p. 5
	courants de claquage dans les transfo HT/BT	p. 5
	surtensions de manœuvre sur réseau MT	p. 5
	tensions harmoniques	p. 5
	tensions et courants de foudre perturbations rayonnées HF	p. 6
3. les perturbations d'origine interne au réseau BT	courants et tensions harmoniques	p. 7
	surtensions de manœuvre (de mode différentiel) sur le réseau BT	p. 8
	forts courants de défaut	p. 8
4. la coexistence « courants forts » - « courants faibles »	minimiser les perturbations émises	p. 9
	agir sur les couplages	p. 10
	masses et terres	p. 11
	système idéal de terre et de masse	p. 13
5. les SLT et les systèmes électroniques communicants (SEC)	SLT, SEC et perturbations Basse Fréquence - BF -	p. 14
	SLT, SEC et perturbations Haute Fréquence - HF -	p. 15
6. conclusion		p. 18
annexe 1 : les SLT selon la CEI 364		p. 19
annexe 2 : exemple de réalisation d'un local sans perturbations électromagnétiques		p. 21
bibliographie		p. 22

Aujourd'hui, l'électronique de puissance et de traitement du signal (analogique, numérique) est omniprésente dans tous les types de bâtiment.

L'informatique, l'automatique, les systèmes hiérarchisés de contrôle-commande, tissent une toile autour des réseaux électriques qui les alimentent. Si les récepteurs non linéaires (redresseurs, variateurs de vitesse, gradateurs, alimentations à découpage...) sont pollueurs, les systèmes électroniques courant faible sont agressés par des perturbations électriques et magnétiques de toute sorte.

Le choix des Schémas des Liaisons à la Terre -SLT- n'est pas neutre vis à vis des systèmes électroniques, particulièrement lorsqu'ils utilisent des liaisons numériques (bus) pour communiquer.

Ce Cahier Technique, après un examen des perturbations existant sur les installations BT, apporte un éclairage sur les avantages et inconvénients des SLT en terme de coexistence courant fort, courant faible.

1. introduction

Une onde électrique est caractérisée par :

- sa fréquence,
- sa tension,
- son intensité.

Dans les grands réseaux des pays industrialisés, la fréquence est parfaitement stable. Elle peut varier lors de l'ilotage d'une installation privée avec emploi de sources de remplacement, mais cette variation est sans effet notable sur les régimes du neutre et les matériels de protection qu'ils nécessitent.

Que la fréquence soit de 50 ou 60 Hz n'est pas déterminant; par contre

certains réseaux distribuent la puissance en 400 Hz, dans ce cas l'influence des capacités de fuite à la terre peut être à prendre en compte dans le choix du schéma des liaisons à la terre -SLT-.

Les courants et les tensions présents dans les installations électriques en exploitation normale et en cas de défaut d'isolement sont essentiellement variables en valeur et en forme d'onde, laquelle peut s'éloigner fortement de la sinusoïde. Ceci est particulièrement vrai pour les courants qui résultent d'un défaut d'isolement en aval d'un

convertisseur statique (cf. Cahier Technique n°114).

Les phénomènes qui déforment ou perturbent la sinusoïde «secteur» ont des origines diverses, et selon le SLT peuvent amener des perturbations de nature différente dans la distribution BT, mais aussi dans les systèmes électroniques communicants.

Il existe trois SLT définis par la publication CEI 364 et, en France, par la norme NF C 15-100, ils sont présentés dans les Cahiers Techniques n°172 et n°173 et un rappel est fait en annexe 1.

2. les perturbations d'origine externe aux réseaux BT

courants telluriques

Il s'agit de courants de fréquence inférieure à 50 Hz, dus aux orages magnétiques solaires. Ils circulent dans la terre profonde. Ils peuvent perturber les protections des lignes de transport, mais ne sont pas gênants au niveau des réseaux BT peu étendus et sans effet lorsqu'ils n'ont qu'une prise de terre.

courants de terre vagabonds 50 Hz

Ils prennent leur origine lors de défauts d'isolement dans les réseaux MT ou HT exploités en neutre à la terre impédant, mais aussi dans certaines installations de traction électriques où le courant de retour passe dans la terre. Donc, attention aux installations BT situées à proximité des postes.

Ils peuvent apporter des perturbations par impédance commune dans le fonctionnement des systèmes courants faibles, géographiquement répartis, si leur référence de potentiel n'est pas unique (plusieurs prises de terre). Il faut noter que les courants vagabonds ont été une raison de l'abandon des relais voltmétriques de terre sensibles à la tension de défaut.

courant de claquage dans les transfo MT/BT

Son intensité est fonction du SLT du réseau MT. Son effet (surtension) dépend de l'interconnexion des masses des récepteurs BT avec la prise de terre du neutre (cf. fig. 1).

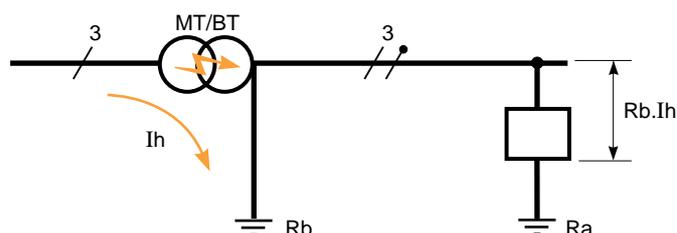
Ainsi en schéma TT, pour éviter un claquage en retour des matériels BT, la résistance R_b devra être inférieure à :

$$R_b = \frac{2U + 1000}{I_{h_{MT}}}$$

A noter que la publication 364 remplace le $2U + 1000$ par $U + 1200$ V en TT et TN, et $U \cdot \sqrt{3} + 1200$ V en IT; elle indique par ailleurs que cette surtension maxi ne doit pas durer plus de 5 secondes.

a - En TT

Les conducteurs actifs sont portés au potentiel $R_b \cdot I_h$ par rapport à la terre ; donc risque pour les récepteurs.



b - En TN

Les masses de tous les récepteurs sont portées au potentiel $R_b \cdot I_h$, par rapport à la terre ; donc risque de contact indirect.

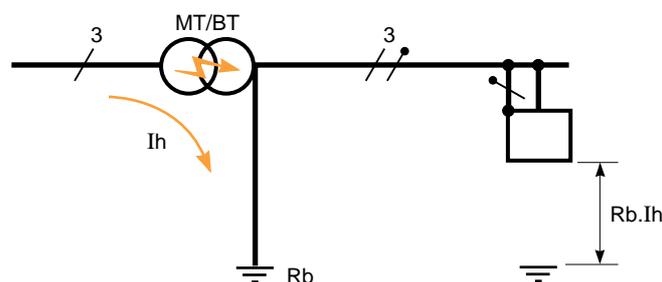


fig. 1 : risques liés à un claquage MT-BT dans le transformateur.

En régime TN, pour éviter le risque « contact indirect », il est nécessaire que le bâtiment soit totalement équipotentiel (Ex. IGH). Il en va de même en IT lors du claquage (mise en court-circuit) du limiteur de surtension, si R_b et R_a sont confondues.

surtensions de manœuvre sur réseau MT

Les surtensions d'origine MT sont fortement atténuées du fait de la faible bande passante du transformateur MT/BT (en mode différentiel). Leurs effets éventuels sont indépendants du choix du SLT de l'installation BT.

tensions harmoniques

Le réseau MT est perturbé par les générateurs d'harmoniques existant chez les divers abonnés. Il en résulte une déformation de l'onde de tension MT et donc BT.

Les récepteurs BT d'un abonné non pollueur absorbent donc des courants harmoniques, les courants résultant d'un défaut d'isolement sont aussi déformés.

Les distributeurs d'énergie électrique sont aujourd'hui fortement préoccupés par la détérioration de l'onde MT, ceci malgré le fait que les transformateurs étoile-triangle (Dy11) ne transmettent

pas les harmoniques de rang 3 et multiples de la BT à la MT...

Le tableau de la figure 2 donne les taux de perturbation harmonique maximaux admis par Electricité de France ; la norme EN 50 160 donne les mêmes valeurs sauf pour h3 et ses multiples.

Rappelons que :

$$\tau_n(\%) = \frac{Y_n}{Y_1} \cdot 100$$

Dans les réseaux BT privés, il est fréquent d'observer des niveaux de tension et courants harmoniques bien plus élevés.

tensions et courants de foudre

Lors d'un coup de foudre direct ou indirect sur la ligne aérienne qui alimente un poste MT/BT, les parafoudres placés sur l'arrivée MT du poste limitent l'onde de tension et écoulent le courant de foudre (cf. Cahier Technique n°168).

L'onde de tension, de mode commun, est transmise sur les enroulements BT du transformateur par les capacités parasites entre les enroulements MT et BT.

Cette onde, dont le niveau ne dépasse que rarement 6 kV, apparaît simultanément sur tous les conducteurs actifs.

La mise à la terre du neutre (directe en TT ou TN, ou via le limiteur de surtension en IT) ne peut atténuer que la surtension apparaissant sur le neutre et provoque l'apparition d'une surtension en mode différentiel (entre neutre et phases).

Si le risque de surtension existe, il est donc fortement conseillé de mettre en œuvre des parafoudres entre tous les conducteurs actifs et la terre quel que soit le schéma des liaisons à la terre (cf. Cahier Technique n°179).

Les liaisons doivent être les plus courtes possible : $\Delta U = L\omega I$ avec

$$L = 1 \mu\text{H/m}; \omega = \frac{2}{tm}, \text{ tm étant le temps}$$

de montée du courant.

L'écoulement à la terre du courant de foudre crée des surtensions dans le réseau BT de façon similaire au cas du claquage du transformateur (cf. fig. 1), avec toutefois une atténuation due aux

harmoniques impairs non multiples de 3		harmoniques impairs multiples de 3		harmoniques pairs	
rang harmonique	tension harmonique % BT/MT	rang harmonique	tension harmonique % BT/MT	rang harmonique	tension harmonique % BT/MT
5	6	3	1,5	2	2
7	5	9	0,3	4	1
11	3,5	15	0,2	6	0,5
13	3	21	0,2	8	0,5
17	2	> 21		10	0,5
19	1,5			12	0,2
23	1,5			> 12	0,2
25	1,5				
> 25	02+0,5*25/h				

Ces valeurs limites, qui peuvent paraître relativement sévères, ont été adoptées par EDF à partir de mesures réalisées en réseaux et correspondent à des niveaux harmoniques pour lesquels les appareils perturbés et perturbateurs cohabitent sur les réseaux dans des conditions acceptables

fig. 2 : niveaux des perturbations harmoniques de la tension admis sur les réseaux de distribution MT et BT.

capacités parasites au fur et à mesure du cheminement de l'onde sur le réseau.

Rappelons que la NF C 15-100 définit quatre niveaux de tension nominale de tenue au choc des matériels électriques (essai à l'onde 1,2/50 μs) : 1,5 - 2,5 - 4 et 6 kV.

perturbations HF

Outre les « coups de foudre », les émetteurs radio-TV - les CB - les talkies walkies génèrent des champs électromagnétiques permanents ou temporaires. Les manœuvres normales, ou sur court-circuit, des appareils de coupure génèrent des champs électromagnétiques impulsionnels. A titre d'exemple, des champs de 40kV/m ont été relevés à 1 m d'une cellule MT.

Ces champs permanents, temporaires ou impulsionnels, se traduisent, par effet d'antenne et de boucle, en parasites conduits qui peuvent perturber, voire endommager, les équipements électroniques autonomes (si leur immunité est insuffisante) et les systèmes électroniques communicants si les liaisons courant faible sont mal réalisées.

3. les perturbations d'origine interne aux réseaux BT

courants et tensions harmoniques

De plus en plus de récepteurs du domaine industriel (convertisseurs statiques...), tertiaire (éclairage fluorescent, matériel informatique...) et même domestique (micro-ondes, téléviseurs...), sont des générateurs de courants harmoniques (cf. fig. 3).

■ **éclairage fluorescent**

La norme NF C 71212 (remplacée par la 71230) fixe les niveaux maxima des taux d'harmoniques émis soit :

□ H3 : 25 %,

□ H5 : 7 %,

□ H7 :%.

La norme EN 55 015 indique le niveau des perturbations rayonnées à ne pas dépasser.

La norme NF C 71-100 fixe à 1mA le courant maximal de fuite à la terre (via le conducteur PE).

■ **redresseurs en pont de Graëtz**

Si la norme CEI 146-4 explicite les courants harmoniques produits par les redresseurs, il n'existe pas encore de norme qui fixe les niveaux à ne pas dépasser (cf. Cahier Technique n°152 et n°160).

■ **alimentation à découpage (MLI)**

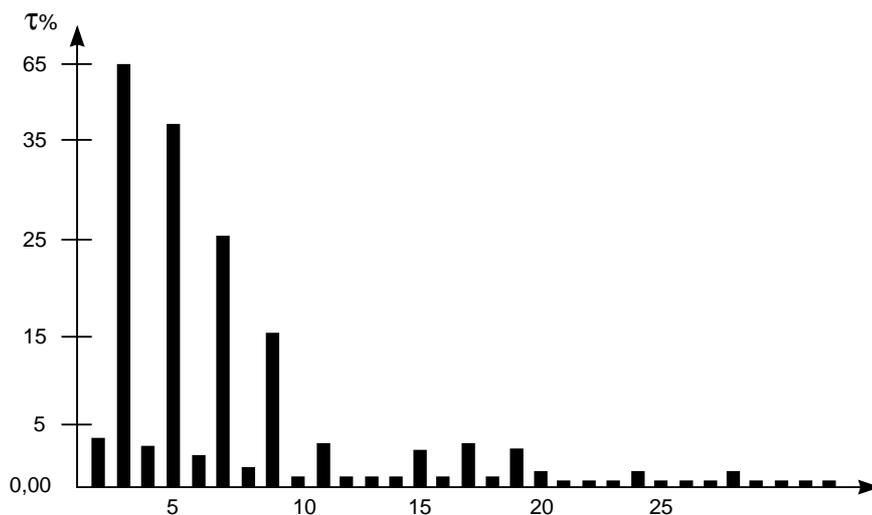
Ces convertisseurs, vu la fréquence de découpage 10 à 30 kHz, génèrent des courants harmoniques de fréquence très élevée qu'il convient d'atténuer (filtres HF).

Les effets des courants harmoniques sont divers et pervers :

■ si un ou plusieurs récepteurs génèrent des courants harmoniques de rang 3 et multiples (3 k), ceux-ci, en l'absence de défaut, s'additionnent et circulent dans le neutre. Si le neutre est commun avec le PE (schéma TN-C) ce courant provoque une perturbation du potentiel des masses qui peut être préjudiciable aux récepteurs sensibles (tensions parasites de mode commun par rapport à la terre).

■ lors d'un défaut d'isolement dans un récepteur générateur de courants harmoniques (convertisseurs statiques), l'onde du courant de défaut a une forme très variable qui est fonction de leur schéma et du point en défaut.

a - alimentation à découpage



b - variateur de vitesse triphasé

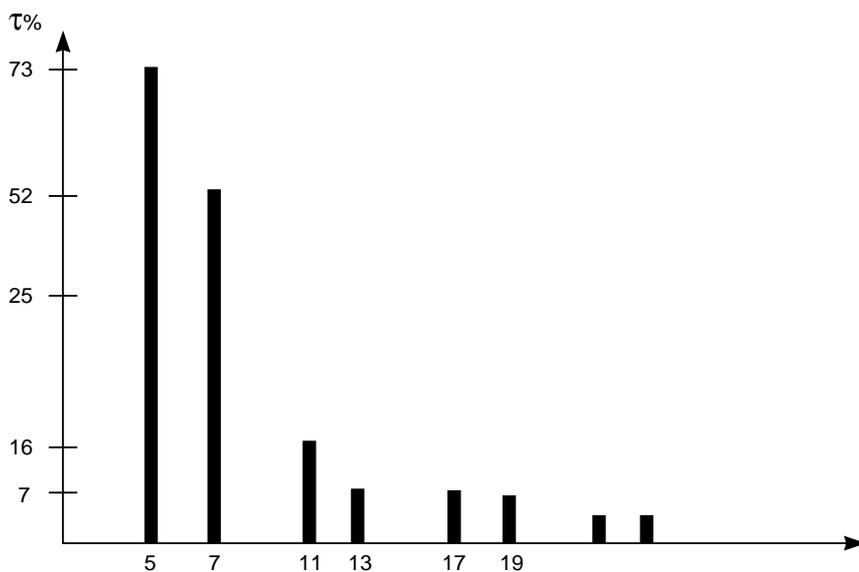


fig. 3 : exemples de spectres harmoniques de récepteurs.

■ les courants de défaut d'isolement chargés en harmoniques peuvent être la cause de dysfonctionnement des protections, des solutions existent :

- en TN et IT les disjoncteurs devront avoir un thermique sensible au courant efficace réel (RMS),
- en TT les DDR devront être de classe A (aptés à fonctionner sur courants pulsés ou déformés).

surtensions de manœuvre (de mode différentiel) sur le réseau BT

Elles résultent essentiellement de la coupure des courants normaux ou de défaut.

Citons :

■ l'ouverture des circuits de commande des contacteurs et des relais, s'ils ne sont pas équipés d'un filtre RC ;

■ la coupure de courants de court-circuit par les DPCC à tension d'arc très élevée (certains fusibles) à noter que la coupure du courant de défaut d'isolement en régime TN peut provoquer une surtension de mode commun.

Ces surtensions peuvent perturber le fonctionnement de certains appareillages sensibles ... y compris les matériels de protection à source auxiliaire, qui doivent être immunisés par construction.

forts courants de défaut

Il s'agit essentiellement des courants de court-circuit entre conducteurs actifs (ou via le PE en TN et IT au deuxième défaut).

Si les divers conducteurs sont unifilaires et non groupés, le champ magnétique, alors rayonné par les conducteurs actifs (et par le PE en TN et IT), peut provoquer des fonctionnements intempestifs des équipements électroniques proches des canalisations électriques ou reliés par des liaisons courant faible.

Le tableau de la figure 4 donne une synthèse des perturbations et de leurs effets en fonction du SLT.

perturbations	effets	
courant de terre vagabonds	création d'une différence de potentiel BF entre deux prises de terre éloignées	TN : risque nul pour les personnes et l'électronique TT : risque nul si 1 seule prise de terre des utilisations IT : idem TT
claquage MT/BT dans le transformateur	tension de mode commun pour le réseau BT ($R_B \cdot I_{hMT}$)	TN : risque pour les personnes si l'équipotentialité du bâtiment n'est pas totale TT : risque pour le matériel IT : idem TN lorsque le limiteur de surtension se court-circuite
foudre sur MT	transmission capacitive sur réseau BT	TN : risque pour le matériel en mode différentiel TT : idem TN IT : idem TN, le limiteur n'agit que sur un conducteur actif
courants harmoniques dans réseau BT	courant harmonique 3 et multiples dans le neutre	TN : non équipotentialité du PEN en TN-C TT : pas de problème IT : pas de problème
courants de défaut d'isolement	champ magnétique. chute de tension dans le PE	TN : risque pour les matériels sensibles et/ou communicants TT : pas de problème IT : idem TN si défaut double

fig. 4 : principales perturbations et effets selon le SLT.

4. la coexistence «courants forts» - «courants faibles»

L'électronique est aujourd'hui partout : dans les capteurs, les actionneurs, les systèmes de contrôle-commande des process, des bâtiments et de la distribution électrique.

Ces équipements sont alimentés par le réseau BT et ne doivent pas être sensibles aux diverses perturbations vues précédemment.

Les constructeurs «sérieux» savent très bien immuniser les appareils, en d'autres termes maîtriser leur susceptibilité aux phénomènes électromagnétiques. Pour cela ils se réfèrent aux normes de compatibilité électromagnétique, par exemple, la CEI 1000 (Cf. Cahier Technique n° 149).

Parallèlement, la normalisation vise à minimiser les perturbations émises par les pollueurs ; citons à titre d'exemple la «norme» CISPR 11, et la directive européenne sur la CEM applicable dès 1996 (89/336/CEE).

La coexistence normée entre pollueurs et pollués n'est pas résolue pour autant car, dans le domaine électrique des questions subsistent :

■ comment se comporte une installation électrique en tant que pollueur ?

La façon de réaliser les installations et le choix du régime du neutre sont un des éléments déterminants.

■ dans ce cadre, comment atténuer les perturbations et leurs effets sur les matériels sensibles (électroniques). C'est tout le problème de la bonne coexistence entre l'électrotechnique et

l'électronique, en d'autres termes, entre les courants forts et les courants faibles.

Pour qu'elle soit bonne, il faut minimiser les perturbations à la source et éviter les couplages entre la source et la victime potentielle.

minimiser les perturbations émises

Comme nous l'avons vu dans les chapitres précédents, les perturbations sont diverses, elles peuvent être de mode commun ou de mode différentiel ; basse ou haute fréquence ; conduites ou rayonnées (Cf. tableau de la figure 5). Pour les limiter, différentes solutions sont possibles :

En MT :

■ utiliser des parafoudres à l'oxyde de zinc et les relier au plus court à une prise de terre distincte de celle du neutre BT, pour limiter les surtensions de foudre,

■ limiter les courants homopolaires MT et minimiser la valeur de la prise de terre du neutre BT, pour éviter les claquages en retour si prises de terre multiples,

■ utiliser des transfos MT/BT dont le couplage bloque certains courants harmoniques, pour limiter la pollution harmonique.

A l'origine du réseau BT :

■ éviter de relier la prise de terre du neutre avec celle du transformateur et des parafoudres (cette séparation des

terres est utilisée en France pour les postes «haut de poteau» en distribution aérienne rurale),

■ mettre en œuvre des parafoudres à l'origine du réseau BT, reliés au plus court à la prise de terre du neutre, pour limiter les surtensions de foudre qui passent à travers le transformateur, ■ éviter le SLT TN-C car le PEN véhicule des courants harmoniques (rang 3 et multiples) et ainsi pollue la référence de potentiel qu'est le PE pour les équipements électroniques.

Dans le réseau BT :

pour minimiser les champs magnétiques rayonnés :

■ éviter, autant que faire ce peut, l'emploi de câbles unipolaires qui génèrent, en cas de court-circuit, un champ magnétique important,

■ ne pas séparer le PE des conducteurs actifs, ou mieux, utiliser des câbles intégrant le PE,

■ ne pas utiliser de câbles blindés dont l'enveloppe constitue le PE ou des tubes acier comme conducteur de protection, (le champ rayonné par les conducteurs actifs est bloqué et le PE génère un champ magnétique),

■ privilégier les SLT qui minimisent les courants de défaut d'isolement (réduction du champ magnétique),

■ éviter de relier en plusieurs points le PE aux structures métalliques du bâtiment, notamment en TN car l'important courant de défaut d'isolement (éventuellement chargé en harmoniques) peut prendre des trajets

	mode commun	mode différentiel
perturbations BF	<ul style="list-style-type: none"> ■ montée en potentiel du réseau BT (claquage MT/BT) ■ fort courant de défaut dans le PE ■ harmoniques de rang 3k dans le PEN ■ prise de terre Ra de trop forte valeur en TT 	<ul style="list-style-type: none"> ■ courants et tensions harmoniques ■ courant de court-circuit
perturbations HF	<ul style="list-style-type: none"> ■ surtension et courant de foudre ■ surtension de manœuvre HT 	<ul style="list-style-type: none"> ■ surtension et courant de foudre ■ coupure d'un Icc par un DPCC à forte tension d'arc

fig. 5 : les différents types de perturbations selon mode et fréquence.

perturbateurs (un champ de 0,7 A/m perturbe les écrans cathodiques !),

- minimiser le courant de mise sous tension des batteries de condensateurs (résistances ou selfs de choc),
- en IT, si le réseau est peu étendu, utiliser une impédance (neutre impédant) pour «fixer» le potentiel du neutre à la terre,
- faire cheminer les câbles de puissance sur des chemins de câbles métalliques en veillant à la continuité de ce «plan de masse» et à sa liaison avec la liaison équipotentielle principale (cheminement horizontal et vertical). Ceci minimise fortement le rayonnement électromagnétique.
- piéger les surtensions :
 - en plaçant des circuits RC sur les bobines de contacteurs, relais, etc ...,
 - en protégeant les équipements sensibles par des «parafoudres».

Au niveau des récepteurs :
Tous les matériels électriques font l'objet de normes limitant leurs émissions de perturbations HF. Mais pour les émissions de perturbations BF, à ce jour, seuls les appareils d'intensité nominale \leq à 16 A ont des limites définies (cf. norme CEI 555-2 / 1000-3.2).
Il existe de nombreuses solutions pour minimiser les courants harmoniques : filtres passifs ou actifs, convertisseur statique à prélèvement sinusoïdal,...

agir sur les couplages

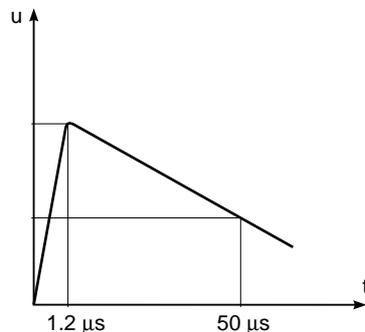
Toutes les perturbations ne peuvent être atténuées à la source ; pour éviter les dysfonctionnements des matériels électroniques, il faut minimiser les transferts entre l'émetteur et la victime. Il existe plusieurs types de couplages, pour les expliquer, prenons l'exemple du courant de foudre (cf. fig. 6).
Lorsque la foudre tombe sur une ligne aérienne MT ou BT, le courant de crête au point de livraison peut atteindre plusieurs dizaines de kA.
Le di/dt et le $\int I^2 dt$ sont très importants.

Couplage par impédance commune

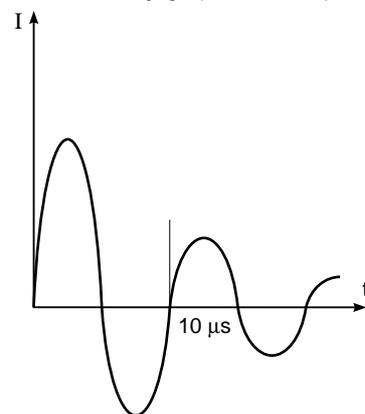
Prenons l'exemple d'un schéma TN, toutes les masses étant reliées (cf. fig. 7).

Si $\hat{I} = 25$ kA, le $di/dt = 25$ kA/8 μ s, et une liaison N-PE de 1 mètre avec une self linéique de 1 μ H/m, la tension ΔV

a - onde de tension de foudre ($f_0 = \frac{1}{\pi tm}$)



b - onde de courant de foudre sans amorçage (f = 100 kHz)



c - onde de courant de foudre avec claquage d'isolant ou conduction d'un parafoudre

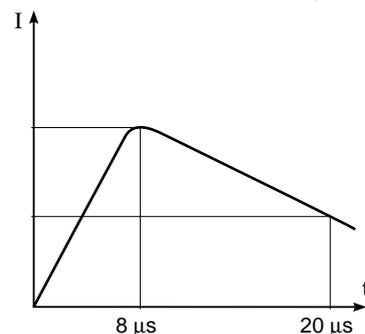
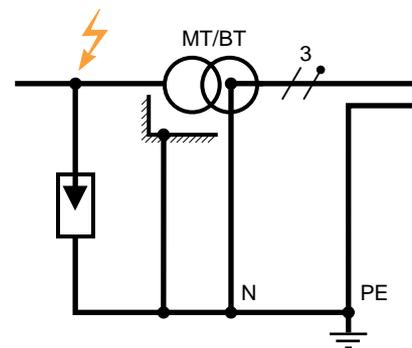


fig. 6 : quelques ondes de foudres normalisées.

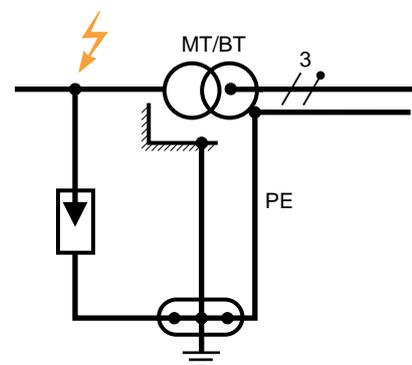
développée entre N et PE (cf. fig. 7 A) est :

$$\Delta V = L \frac{di}{dt} = 10^{-6} \times \frac{25 \cdot 10^3}{8 \times 10^{-6}} = 3 \text{ kV}$$

a



b



c

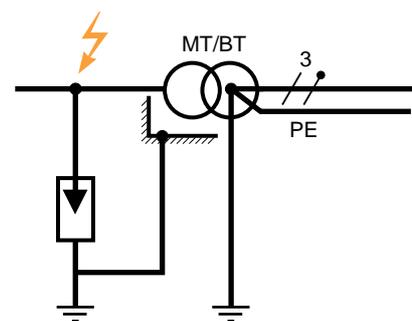


fig. 7 : éviter le couplage par impédance commune vis à vis des perturbations d'origine MT.

C'est la tension qui va être appliquée entre neutre et masse des équipements BT !

La solution consiste à réaliser les connexions en étoile à partir de la prise

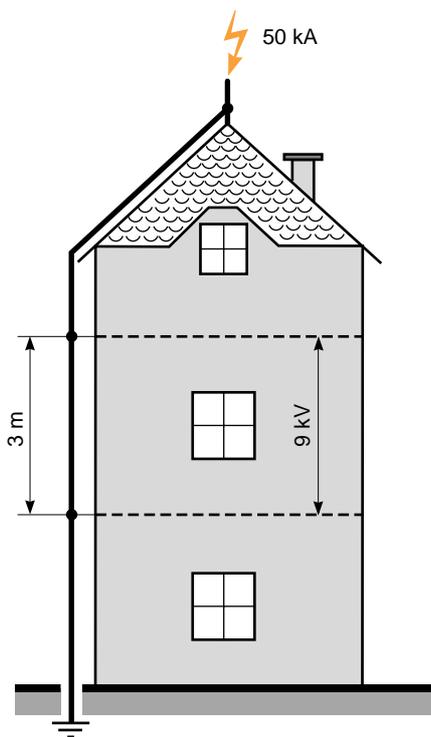


fig. 8 : tension «de mode commun» générée entre 2 étages par un courant de foudre de 50kA.

de terre, mieux à créer deux prises de terre (cf. fig. 7 b et c).

Plus généralement un conducteur électrique parcouru par un courant anormal (de défaut) génère entre ses extrémités une ddp qui peut être perturbatrice, c'est le couplage par impédance commune.

Prenons un autre exemple lié à l'installation d'un paratonnerre. Supposons que les planchers, en partie métalliques, soient reliés à la descente de paratonnerre (cf. fig. 8) :

avec :
 $L = 0,5 \mu\text{H/m}$ (conducteur plat)
 $I = 50 \text{ kA}$

le ΔV entre étage sera :

$$\Delta V = L \frac{di}{dt} = 1,5 \cdot 10^6 \times \frac{50 \cdot 10^3}{8 \cdot 10^{-6}} = 9,4 \text{ kV}$$

L'équipotentialité dans le bâtiment peut être mise en cause !

L'une des solutions consiste à multiplier les conducteurs de descente et à les éloigner de tout circuit

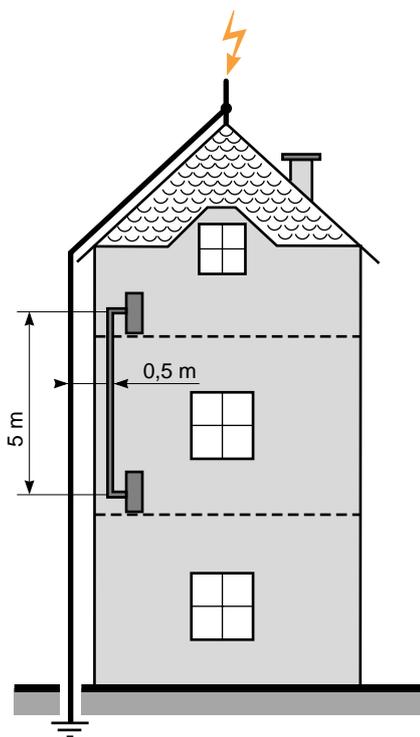


fig. 9 : le couplage inductif crée des tensions de mode différentiel dans les liaisons courant faible.

électrique, à tendre vers une «cloche» de Faraday.

A noter que pour atténuer la pénétration dans le bâtiment des ondes EM de foudre résultant d'un coup de foudre proche, il faut que la distance entre les conducteurs qui constituent la cage soit inférieure au dixième de la longueur d'onde λ . Avec un $tm = 1 \mu\text{s}$

$$f = \frac{1}{\pi tm} = \frac{10^6}{\pi}$$

$$\frac{\lambda}{10} = \frac{1}{10} \frac{300 \times 10^6}{\frac{10^6}{\pi}} \approx 100 \text{ m}$$

Couplage capacitif

Le matériel MT(24 kV) a une tension de tenue au choc de foudre (onde 1,2/50 μs) de 125 kV.

Le coefficient de transfert capacitif entre le 20 kV et le 400 V est généralement de 0,04 à 0,1 (la CEI 71-2 indique qu'il peut atteindre 0,4).

Ainsi une onde de foudre de 100 kV, avec un coefficient de 0,07 transmet à la BT une onde homothétique de 7 kV en mode commun.

C'est pour cette raison que :

- le matériel BT du poste est généralement à isolation renforcée (10 kV),
- les armoires électriques peuvent tenir 12 kV à l'onde de choc (PRISMA et ses accessoires),
- et les disjoncteurs de puissance ont une tenue de 8 kV en mode commun selon la norme CEI 947-2.

Les transferts capacitifs de perturbations sont d'autant plus forts que la tension et la fréquence sont élevées.

Tout conducteur «de puissance» transmet par effet capacitif une tension parasite aux conducteurs «courants faibles» qui suivent le même parcours, à une distance insuffisante.

Couplage inductif

Supposons qu'un bâtiment soit équipé d'un paratonnerre et qu'une liaison courant faible longe, sur une longueur $L = 5 \text{ m}$ et à 50 cm de distance, la descente du paratonnerre.

La surface $S = L \times I$ (espace séparant les deux conducteurs courant faible $\approx 5 \text{ mm}$) est de :

$$5 \times 0,005 = 0,025 \text{ m}^2$$

Utilisons le théorème d'Ampère :

$$H = \frac{I}{2\pi \cdot R}; \quad \phi = B \cdot s \text{ et } u = \frac{d\phi}{dt} \text{ d'où}$$

$$\hat{u} = -\mu_0 \cdot S \frac{dH}{dt} = -\frac{\mu_0 \cdot S}{2\pi \cdot R} \cdot \frac{di}{dt}$$

soit avec $di = 50 \text{ kA}$ et $dt = 8 \cdot 10^{-6} \text{ s}$

$$\hat{u} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 0,025}{2\pi \cdot 0,5} \cdot \frac{50 \cdot 10^3}{8 \cdot 10^{-6}} \approx 60 \text{ V}$$

Cette tension impulsionnelle se superpose à la tension utile (quelques volts) et perturbe la liaison, voire endommage les appareils électroniques communicants.

La solution est d'éviter les parcours communs et proches entre les circuits à fort di/dt et les circuits courant faible... et d'utiliser des paires torsadées pour la transmission d'informations.

Les couplages résultent essentiellement de la façon dont les installations sont réalisées.

A titre d'exemple, sont présentées en annexe 2, les dispositions prises dans un hôpital, pour être sûr de réaliser des électro-encéphalogrammes sans «parasites».

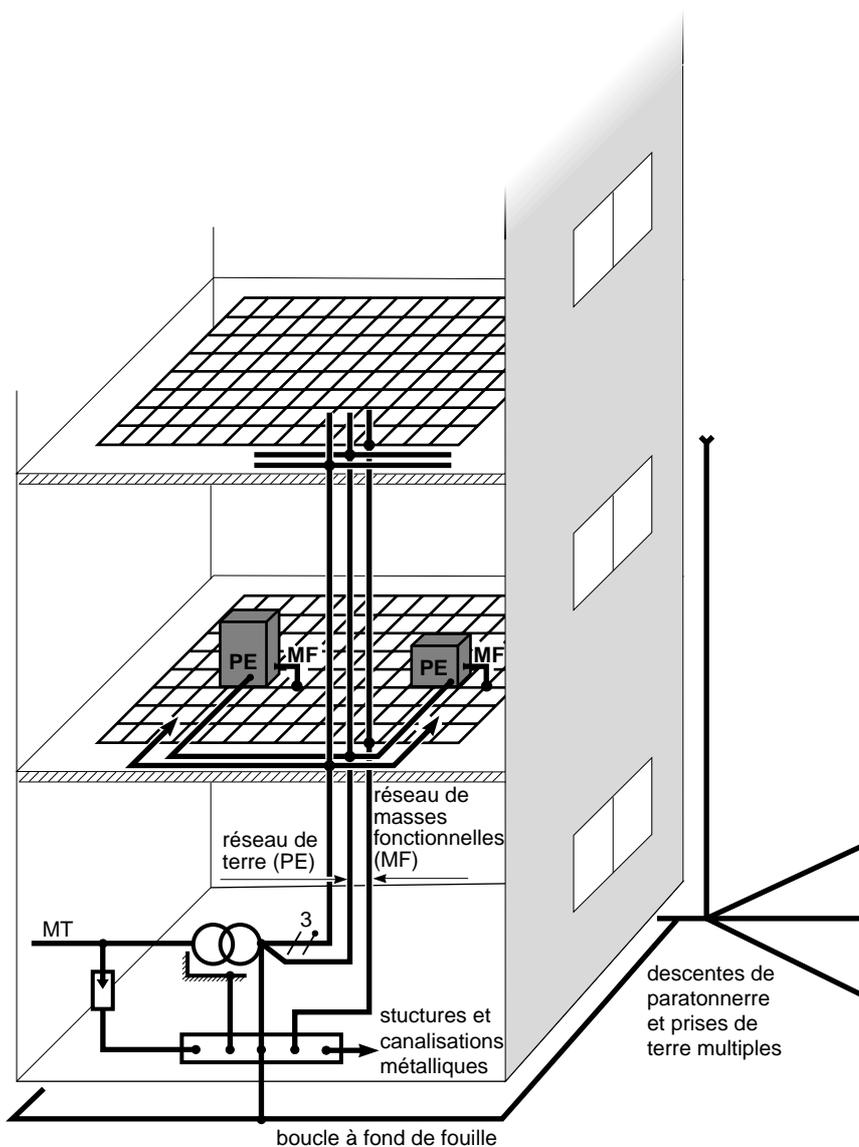


fig. 10 : exemple de système de terre et de masses.

masses et terres

Pour faciliter la compréhension des chapitres suivants, quelques définitions :

- terre (profonde) : masse conductrice de la planète qui est la référence de mode commun des installations électriques,
- prise de terre : conducteur en contact direct avec la terre,
- résistance de prise de terre : résistance entre le (ou les)

conducteur(s) constituant la prise de terre et la terre profonde,

- réseau de terre : ensemble des conducteurs de protection (PE) relié à une prise de terre, dont le but est d'éviter l'apparition d'une tension dangereuse entre les masses électriques et la terre en cas de défaut d'isolement (contact indirect),
- masse électrique : partie conductrice d'un matériel électrique qui peut être mise sous tension lors d'un défaut d'isolement,

- masse fonctionnelle : partie conductrice d'un matériel électronique qui a un rôle d'écran, et souvent de référence de potentiel (zéro volt).

Un matériel de classe II n'a pas de masse électrique, mais peut avoir une masse fonctionnelle,

- masse d'accompagnement : structure de masse ou conducteur tels que plancher maillé, chemin de câbles ou blindage qui accompagne de bout en bout un câble courant faible qu'elle protège par effet réducteur des couplages électromagnétiques (HF) ou des couplages par impédance commune,

- réseau de masses fonctionnelles : ensemble des conducteurs de masse d'accompagnement et des structures conductrices du bâtiment qui ont un rôle d'équipotentialité et d'écran vis à vis des perturbations.

Il convient de bien noter qu'un système de terre a un rôle de protection des personnes (50 Hz) et qu'un système de masse a un rôle fonctionnel dans la transmission des informations et la lutte contre les perturbations électromagnétiques.

système idéal de terre et de masse

Le schéma de la figure 10 en est un exemple pour les raisons suivantes :

- les perturbations externes (foudre, de manœuvres, claquage HT/masse) affectent au minimum les équipements du bâtiment, car :

- multiples conducteurs de descente du paratonnerre et prises de terre multiples en patte d'oie,
- les différentes mises à la terre « électriques » sont raccordées en étoile à une seule prise de terre.

- le conducteur PE (quel que soit le SLT) ne perturbe pas les masses fonctionnelles électroniques, car :

- pas de couplage par impédance commune (le réseau de terre -PE- est séparé du réseau des masses fonctionnelles). Dans la pratique, ceci est réalisé dans la distribution (au niveau des étages) mais n'est pas obligatoire pour la colonne montante,
- peu de champ rayonné si le PE est dans le même câble que les conducteurs actifs et si le câble est sur

un chemin de câble métallique avec continuité électrique et relié au PE à l'origine de l'installation.

■ tous les câbles «courant faible» cheminent sur le plancher maillé (effet réducteur) à distance des circuits de puissance ≥ 30 cm) pour éviter les effets de couplage magnétique. Un conducteur de masse d'accompagnement peut remplacer le plancher maillé ou compléter son effet pour minimiser les effets de boucle éventuels en HF.

Les liaisons courant faible inter étages circulent dans une goulotte métallique

qui suit la liaison «masses fonctionnelles».

Le réseau de terre -PE- et le réseau de masses fonctionnelles peuvent constituer un seul et même réseau sous deux conditions essentielles :

□ en l'absence de perturbations HF, de forts dv/dt et de forts di/dt ,

□ si les courants de défaut dans le PE ou PEN sont faibles et sans harmoniques.

Certains spécialistes de la CEM indiquent que même si ces conditions ne sont pas réunies, les réseaux de

masses et de terre peuvent être intimement liés. Ceci à condition que les planchers, les structures, les chemins de câbles soient **fortement** maillés (recherche de l'équipotentialité totale par division des courants et minimisation des boucles).

Cette solution difficile à réaliser au niveau du gros œuvre (interconnexion des fers à bétons et de toutes les huisseries métalliques) peut convenir pour des bâtiments très spécialisés tels que centres informatiques, centraux téléphoniques.

5. les SLT et les systèmes électroniques communicants (SEC)

Dans le § précédent, nous avons traité de la coexistence entre les installations électrotechniques et les appareillages électroniques. La situation se complique avec le développement des liaisons numériques qui fédèrent les électroniques en systèmes de contrôle-commande communicants.

Dans ce chapitre, nous allons examiner plus en détail les problèmes que peuvent poser les régimes du neutre, des réseaux BT aux systèmes électroniques communicants.

Les systèmes communicants, avant le développement des microprocesseurs :

- utilisaient des signaux analogiques (0-10 V, 4-20 mA...) basse fréquence,
 - étaient rares et locaux (liaisons capteurs-appareils de mesure),
 - étaient sensibles aux perturbations BF, d'où la connexion des masses en étoile pour éviter les couplages de mode commun,
- De plus, il y avait peu de perturbations HF, et les tensions induites étaient faciles à filtrer.

Aujourd'hui, les liaisons entre les dispositifs électroniques se font en numérique (bus) à fréquence élevée et à très faible niveau électrique. Elles sont de plus en plus nombreuses et étendues (réseaux de micro ordinateurs, capteurs actionneurs «intelligents», système de gestion technique,...).

Selon le SLT utilisé, la façon de connecter les masses fonctionnelles et les parcours relatifs des liaisons courant faible par rapport à la distribution de puissance, il peut être observé :

- l'existence de perturbations par impédance commune dues aux courants de défaut dans le PE,
- la création de boucles étendues (avec les liaisons numériques) donc fortement réceptives aux perturbations émises par des équipements émetteurs de signaux (normaux ou parasites) haute fréquence.

SLT, SEC et perturbations Basse Fréquence - BF -

Souvent, les matériels électroniques ayant besoin d'une alimentation électrique, leurs masses électriques et fonctionnelles sont reliées au réseau de terre (PE), qui suit l'arborescence du réseau électrique.

Les perturbations BF apparaissent dans un réseau par couplage de type impédance commune ou par induction (parcours parallèles et proches).

Couplage par impédance commune

Prenons un exemple : lorsqu'un défaut d'isolement provoque la circulation d'un courant dans le PE, entre les points de raccordement d'un appareil (1) et de son capteur (2), une chute de tension apparaît entre C et D (cf. fig. 11). Cette tension (u) se retrouve entre (1) et (2) et peut perturber la transmission des signaux.

Si, par exemple, le câble est coaxial, la tension (U) imposée à la gaine va se retrouver en mode différentiel dans la liaison !

Ce phénomène existe plus ou moins selon le type de câble employé, il dépend de leur «impédance de transfert» dans le domaine de fréquence considéré.

- en TN-C les courants qui circulent dans le neutre, donc dans le PEN font varier fortement la référence de potentiel des différents appareils du SEC. Ce SLT ne convient pas ; à fortiori si des courants harmoniques circulent dans le neutre, à moins de séparer totalement le système de masse fonctionnelle du système de terre.

- en TN-S mais aussi en TN-C, les défauts d'isolement entraînent la circulation de courants de court-circuit (à fort di/dt) dans le PE qui :

- modifie la référence de potentiel des SEC (cf. exemple précédent),
- peuvent provoquer la circulation de courants perturbateurs dans les structures métalliques du bâtiment (d'où l'intérêt de relier les structures à la borne principale de terre plutôt qu'au réseau de terre, en divers points).

- en IT, au premier défaut, les courants de défaut sont généralement inférieurs à 1A donc pas gênants. En cas de défaut double, si le premier défaut n'a pas été recherché et éliminé, la situation est la même qu'en TN-S.

- en TT, il est bien évident que si les systèmes communicants sont reliés à des prises de terre différentes, les problèmes d'équipotentialité sont aussi

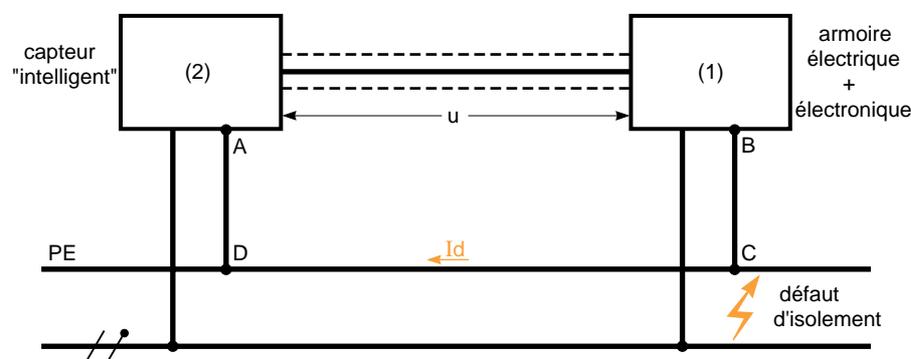


fig. 11 : la chute de tension dans le PE, due au courant de défaut, perturbe la liaison entre appareils communicants (elle peut dépasser $U_0/2$ en schéma TN - $S_{PE} < S_{ph}$).

importants qu'en TN ; donc système communicant implique une seule prise de terre des utilisations.

Dans ce cas, les défauts d'isolement entraînent la circulation, dans le PE, de courants de défaut de 20 A environ, peu perturbateurs (contre 20 kA en TN).

Les solutions, pour éviter l'apparition de ces perturbations entre appareils communicants, consistent à :

- éviter les SLT qui font circuler un fort courant dans le PE,
- isoler les 0 Volt électroniques des masses électriques (donc transformateur d'isolement si nécessaire).

Et rappelons que les matériels de traitement de l'information devraient comporter un transformateur d'isolement (CEI 950) et que la NF C 15-100 § 707.545-2-1 exige que les masses fonctionnelles des matériels de traitement de l'information soient raccordées directement à la borne principale de terre (LEP),

- utiliser des matériels de classe II, ce qui supprime les liaisons au PE,
- éviter les prises de terre multiples (en TT et en IT) s'il y a des risques de courants vagabonds dans la terre.

Couplage par induction (diaphonie inductive)

Rappelons que selon les lois de l'électromagnétisme tout courant qui circule dans un conducteur génère un champ magnétique. Si ce champ est variable il entraîne une variation de flux et donc une tension parasite dans une boucle proche.

Pour éviter l'apparition de champ magnétique :

- les conducteurs actifs et le PE doivent être dans un même câble (les champs rayonnés par les divers conducteurs s'annulent). Rappelons que les courants de défaut d'isolement en TN peuvent être caractérisés par $\Delta i \approx 50 \text{ kA}$ avec un $\Delta t \approx 5 \text{ ms}$,
- il est déconseillé de permettre aux structures de participer au circuit de retour ; sinon la somme vectorielle des courants dans le câble n'est pas nulle.

Et pour limiter les couplages il faut :

- éviter tout parcours parallèle et proche entre un conducteur à fort di/dt (descente de paratonnerre, conducteur de protection) et une liaison « courant faible »,
- utiliser pour les courants faibles des liaisons à paires torsadées (les tensions développées dans les boucles successives s'annulent).

SLT, SEC et perturbations Haute Fréquence - HF -

Les systèmes numériques répartis dans les bâtiments sont très sensibles aux perturbations HF permanentes ou transitoires, rayonnées et conduites.

Les perturbations HF rayonnées

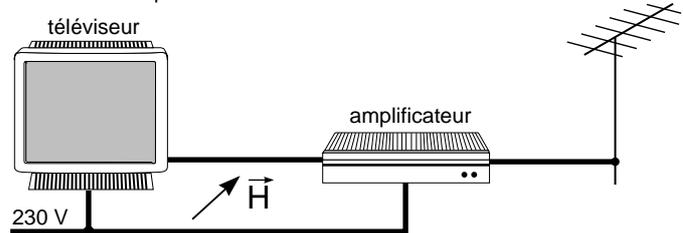
Ces perturbations sont dues à des signaux de fréquence généralement supérieure à 1 MHz. Elles ont pour origine les soudeuses, les fours à arc, les talkies-walkies et autres émetteurs

tels certains appareils de coupure HT ou ballasts électroniques.

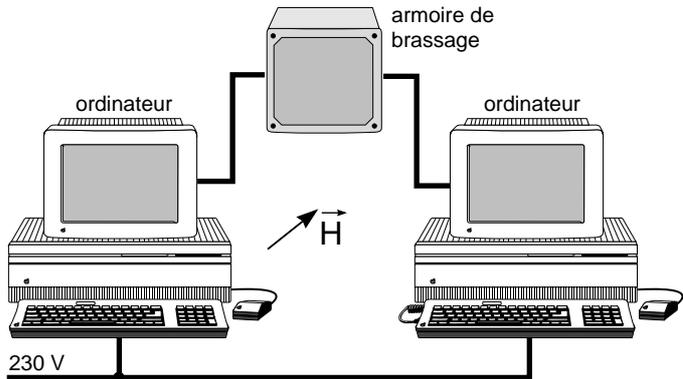
En fait il existe bien des normes limitant les émissions HF (CISPR 11 et EN 55011), mais tous les appareils ne sont pas concernés.

Si la gêne apportée par ces perturbations aux SEC est indépendante des SLT, il faut absolument éviter la création de boucles que peuvent constituer les réseaux courant faible avec les circuits électriques (cf. fig. 12).

a - TV avec amplificateur



b - ordinateurs en réseau



c - ordinateur et imprimante

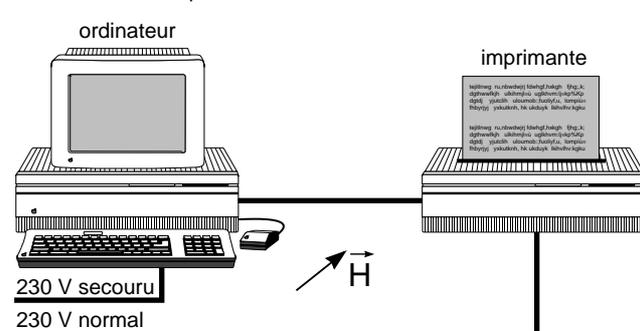


fig. 12 : exemples de boucles inductives provoquant des claquages de systèmes électroniques communicants.

En effet, un champ électro magnétique rayonné induit un courant dans la boucle, qui génère des tensions parasites dans les transmissions «courant faible». Et plus la boucle est grande, plus la perturbation est importante.

Phénomène naturel, la foudre est un perturbateur très puissant, un coup de foudre de 50 kA à 100 m de distance peut générer une tension de 100 V dans une boucle ouverte de 1 m² et un courant de plus de 20 A si la boucle est fermée.

Sur le schéma de la figure 13, en l'absence de conducteur d'accompagnement, une tension est développée entre les deux extrémités de la liaison courant faible ; elle perturbe les signaux transmis. Le conducteur d'accompagnement forme, avec la liaison courant faible, une boucle inductive de surface très faible (S2), bien plus faible que la surface initiale (S1 + S2), d'où une très forte réduction de la perturbation. Plusieurs solutions peuvent être envisagées selon les matériels installés :

- 1- utiliser un transformateur d'isolement et éviter les capacités parasites entre l'électronique et la masse électrique.
- 2- minimiser la surface de la boucle :
 - soit en faisant suivre le même chemin par les deux circuits, «courant faible» et d'alimentation, mais écartés d'environ 30 cm (cf. chapitre précédent),
 - soit en ajoutant un conducteur d'accompagnement si la liaison «courant faible» n'est pas blindée.

A noter que les plans de masse jouent le même rôle que le conducteur d'accompagnement (goulottes métalliques, planchers finement maillés).

- 3- utiliser, pour les liaisons numériques, des conducteurs torsadés (réduction de l'impédance de transfert) circulant dans une goulotte métallique qui fait office de conducteur d'accompagnement.

- 4- dans les situations difficiles prévoir un découplage aux deux extrémités de la liaison numérique (entrée et sortie) par optocoupleurs ou transfo d'impulsion et relier le blindage de la liaison numérique à la masse électronique (cf. fig. 14).

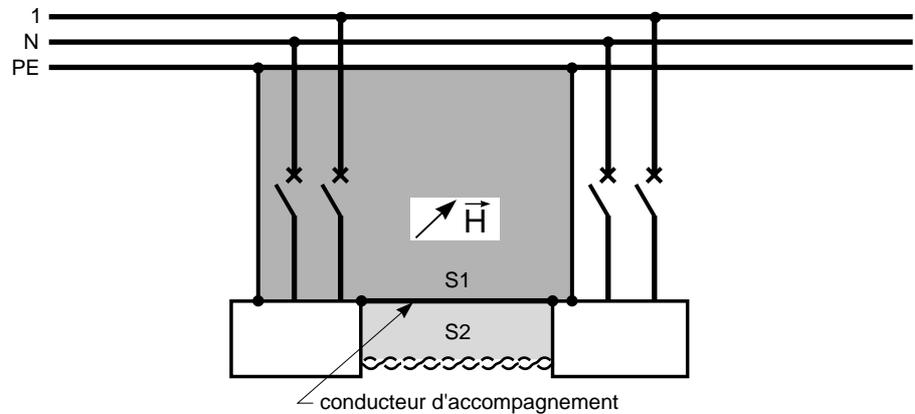


fig. 13 : réduction de la surface de boucle par masse (ou conducteur) d'accompagnement (dans cet exemple masses fonctionnelles et PE sont reliés; ce qui ne pose pas de problème en schéma TT).

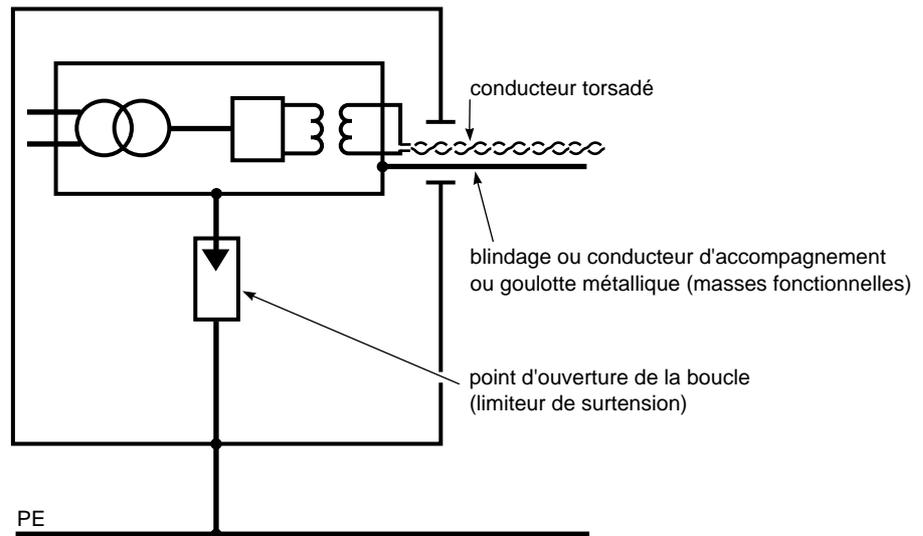


fig. 14 : exemple de dispositions prises pour éviter les perturbations par effet de boucle en HF.

Rappelons qu'il faut éviter de relier le réseau de masse fonctionnelle au PE si les courants de défaut d'isolement sont très importants (cf. fig. 10) (couplage par impédance commune en 50 Hz).
-5- enfin dans les environnements très perturbés, la solution est la transmission par fibre optique...

Les perturbations HF conduites

Ces perturbations sont dues à des signaux de fréquences typiquement comprises entre 10 kHz et 30 MHz.

Elles ont pour origine la foudre, les surtensions de manœuvre et certaines alimentations à découpage.

■ la foudre

Dans ce cas, le problème est identique quelque soit le SLT : la surtension de foudre qui arrive à l'origine de l'installation BT est essentiellement de mode commun (elle intéresse tous les conducteurs actifs). Elle est atténuée par les capacités parasites au fur et à mesure qu'elle s'éloigne de la source.

Aussi, lorsque deux appareils communicants, sont installés à distance, l'un proche de la source et l'autre éloigné, il apparaît une ddp HF entre les alimentations de ces deux appareils. D'où une possible perturbation des communications numériques.

La réponse minimale à ce problème est d'installer, à l'origine de l'installation BT (près du transformateur MT/BT), des parafoudres entre chaque conducteur actif et la terre, sauf :

- sur le neutre en TN et TT, car le neutre est relié à la terre (la surtension s'écoule directement à la terre), mais il faut veiller à avoir une liaison la plus courte possible entre la mise à la terre du neutre et le PE (cf. chapitre précédent),
- sur le conducteur auquel est raccordé le limiteur de surtension (généralement le neutre) en IT, car ce limiteur élimine cette surtension.

Nota : En TN-S - IT et TT, il peut être nécessaire de rajouter dans l'installation BT des parafoudres de tension plus basse ; même sur le neutre, du fait du couplage capacitif entre les conducteurs actifs.

Pour la mise en œuvre, voir le Cahier Technique n° 179.

■ les surtensions de manœuvre (coupure de courants inductifs) Elles sont essentiellement de mode différentiel.

Tous les SLT sont concernés de la même façon.

La seule solution est d'atténuer ces surtensions dès leur émission.

■ les perturbations dues aux alimentations à découpage Certains équipements tels les ballasts électroniques de certaines lampes et tubes fluorescents, les téléviseurs, les micro ordinateurs... utilisent des alimentations à découpage (à Modulation de Largeur d'Impulsion - MLI-). Ils sont générateurs de courants harmoniques HF qui peuvent perturber les équipements sensibles.

Si c'est le cas, il y a trois solutions :

- interposer un transformateur d'isolement avec écran. A titre d'exemple, les téléviseurs d'importation sans transformateur viennent d'être mis à l'index (mais pour des raisons de sécurité des personnes !),

□ utiliser des tores ferrites Ceux-ci, par effet Joule, dans les matériaux magnétiques, atténuent les perturbations jusqu'à quelques dizaines de MHz (cf. fig. 15),

□ utiliser des filtres comme, par exemple, le filtre de la figure 16.

Nota :

L'emploi de filtres est une solution d'électronicien souvent employée par les constructeurs d'appareillage sensible. Cette solution doit respecter les normes de produits qui limitent les courants de fuite 50 Hz. Ceux-ci, dans la pratique, varient de 0,2 à 1 mA pour les appareils branchés sur une prise de courant, mais peuvent être plus importants pour les équipements de puissance installés à poste fixe. Il existe par exemple des filtres ayant un courant de fuite de 2,85 mA pour $I_n = 50 \text{ A} - 50 \text{ Hz}$.

A noter que les équipements informatiques satisfont à la CEI 950 qui autorise, pour certains matériels (gros ordinateurs, calculateurs portant une étiquette « courant de fuite élevé »), des courants de fuite jusqu'à 5 % de I_n , ce qui explique la nécessité d'isoler leur distribution électrique, généralement en SLT - TN.

Rappelons que pour ces matériels, la NF C 15-100 prescrit une liaison directe à la liaison équipotentielle principale.

La tenue en tension des condensateurs -Cy- des filtres standard est une autre caractéristique importante : elle est souvent bien plus faible que celle des matériels électrotechniques.

Les filtres sont donc vulnérables aux surtensions de mode commun et peuvent nécessiter une protection rapprochée par parasurtenseur (varistance).

Ceci pose plus globalement le problème de la coordination des isolements en BT.

Examinons l'influence de ces condensateurs Cy sur les différents SLT.

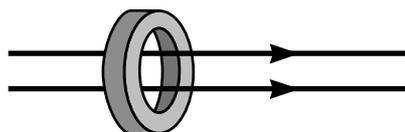


fig. 15 : un tore en ferrite atténue les perturbations HF de mode commun.

■ en régime TN, ils ne gênent pas les disjoncteurs et fusibles qui sont les acteurs de la protection des personnes.

■ en régime IT, ils ne perturbent pas davantage les dispositifs de protection contre les court-circuits. Mais si les équipements électroniques comportant de tels filtres sont très nombreux, ils peuvent gêner le fonctionnement des CPI à injection de courant BF auxquels il convient de préférer les appareils à injection de courant continu.

■ en régime TT, les courants de fuite dus aux filtres, lorsque les équipements électroniques sont nombreux, peuvent provoquer le fonctionnement intempestif des DDR à haute sensibilité (30 mA), voire à moyenne sensibilité (0,3 A).

C'est pour cette raison que les règles de l'art conduisent aujourd'hui à ne pas protéger plus de trois prises de courant par un DDR 30 mA.

Il faut noter que les appareils de protections ont évolué pour faire face aux perturbations électromagnétiques.

Par exemple, pour les DDR :

- ils sont insensibilisés aux perturbations à front raide et aux courants transitoires,
- ils sont immunisés contre les courants unidirectionnels pulsés,
- ils laissent s'écouler à la terre, par le parafoudre, les surtensions de foudre sans déclencher (différentiel avec léger retard au déclenchement).

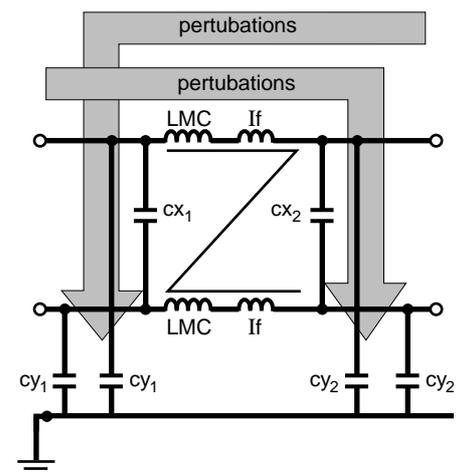


fig. 16 : filtre haute fréquence.

conclusion

Les divers SLT sont équivalents vis à vis de la protection des personnes. Mais, avec le développement des systèmes numériques communicants et la prolifération des pollueurs, la conception des installations électriques exige de gérer la coexistence «courants forts» - «courants faibles» et donc de reconsidérer les modes d'installation ainsi que le choix des régimes du neutre (SLT).

Au niveau des installations

A ce niveau, il est nécessaire tout à la fois de réduire les sources de perturbations (puissance et rayonnement), et la sensibilité des équipements et notamment des liaisons «courants faibles».

Pour cela il faudrait :

- éviter de relier les conducteurs de descente des paratonnerres et des masses MT à la prise de terre du neutre (élimination des surtensions de mode commun résultant du couplage par impédance commune),
- que le PE longe les conducteurs actifs, (réduction des couplages par induction) et ne soit raccordé, dans la distribution, qu'aux masses des récepteurs électriques, ceci surtout en TN,
- utiliser des chemins de câbles métalliques équipotentiels par rapport à la liaison équipotentielle principale (réduction du rayonnement des câbles électriques de puissance et effet de conducteur d'accompagnement et de plan de masse pour les circuits sensibles).

Les liaisons «courants faibles» doivent être nettement séparées des câbles de

puissance s'ils sont sur le même support ou mieux être placées sur des chemins câble différents et proches. Dans la réalité, les liaisons «courants forts» - «courants faibles» ont souvent des trajets différents. De ce fait, il faut utiliser un conducteur d'accompagnement (ou équivalent) pour les circuits «courants faibles» et donc créer un réseau de masses fonctionnelles.

Au niveau des SLT

Le schéma TN-C, déjà interdit dans les locaux à risque d'incendie et d'explosion, est à proscrire car les courants de neutre circulant dans le PEN perturbent l'équipotentialité.

Par ailleurs, si une partie des courants de neutre et de défaut circule dans les structures métalliques du bâtiment, ces courants «vagabonds», ainsi que le câble ph + PEN deviennent générateurs de champs magnétiques perturbateurs.

Pour le schéma TN-S, vu les forts courants de défaut perturbateurs, il est conseillé de créer un circuit de masse fonctionnelle, séparé du circuit de terre (PE) et donc réellement équipotentiel, (cf. fig. 10) qui va constituer, avec les planchers conducteurs et les structures, un effet plan de masse réducteur et cage de Faraday.

Le schéma IT permet d'obtenir la meilleure continuité de service et le niveau de perturbation est très faible ; mais, si l'occurrence du défaut double est prise en compte, les prescriptions sont les mêmes qu'en TN-S.

Le schéma TT est celui qui génère le moins de perturbations en cas de défaut d'isolement, il permet de continuer à mélanger intimement masses fonctionnelles et masses électriques et de jouer à fond le maillage et l'équipotentialité.

En définitive, face au problème nouveau des systèmes communicants par liaisons numériques, c'est tout le problème de l'équipotentialité, en BF et HF, de toutes les masses dans toute l'installation qui est posé.

La réponse en terme de mise en œuvre des SLT est :

- pour tous les SLT : créer des plans de masses réducteurs (planchers, chemins de câble métalliques) les interconnecter et éviter les boucles «courants forts» - «courants faibles»,
- pour les SLT TN-S et IT (2^{ème} défaut) séparer le réseau de terre (PE) du réseau de masse ou mailler très fortement toutes les masses pour diviser les courants de défaut 50 Hz et les courants perturbateurs HF.

Relier intimement tout ce qui est métallique est une solution défendue généralement par les anglo-saxons ; elle n'est en pratique applicable que dans les bâtiments «très métalliques», à développement vertical et dont la construction est contrôlée.

- le schéma TT est celui qui répond le mieux au problème posé par la prolifération des liaisons numériques dans les bâtiments ; ceci à la condition que les prises de terre des récepteurs soient interconnectées par le PE.

annexe 1 : les SLT selon la CEI 364

Les trois SLT normalisés au niveau international sont aujourd'hui repris par bon nombre de normes nationales : en France, par la norme d'installation BT NF C 15-100.

Ces trois régimes du neutre sont étudiés en détail dans le Cahier Technique n° 172 ; avec, pour chacun, présentation des risques, et des appareillages de protection associés. Il convient toutefois de rappeler succinctement leur principe de protection.

le schéma TN

(cf. fig. 17)

- le neutre du transformateur est mis à la terre,

- les masses des récepteurs électriques sont reliées au neutre.

Le défaut d'isolement se transforme en court-circuit et la partie en défaut est déconnectée par la protection contre les courts-circuits (DPCC).

La tension de défaut (masse/terre profonde) dite de « contact indirect » est $\approx U_0/2$ si l'impédance du circuit « aller » est égale à celle du circuit « retour ». Supérieure à la tension limite conventionnelle (U_L) qui est généralement de 50 V, elle nécessite une déconnexion d'autant plus rapide que U_d est grand devant U_L .

le schéma TT

(cf. fig. 18)

- le neutre du transformateur est mis à la terre,

- les masses des récepteurs électriques sont aussi reliées à une prise de terre.

Le courant de défaut d'isolement est limité par l'impédance des prises de terre et la partie en défaut déconnectée par un Dispositif Différentiel Résiduel - DDR -.

La tension de défaut est :

$U_c = U_0 \frac{R_A}{R_B + R_A}$, supérieure à la tension U_L , le DDR entre en action dès

que $I_d \geq \frac{U_L}{R_A}$

schéma TN-C

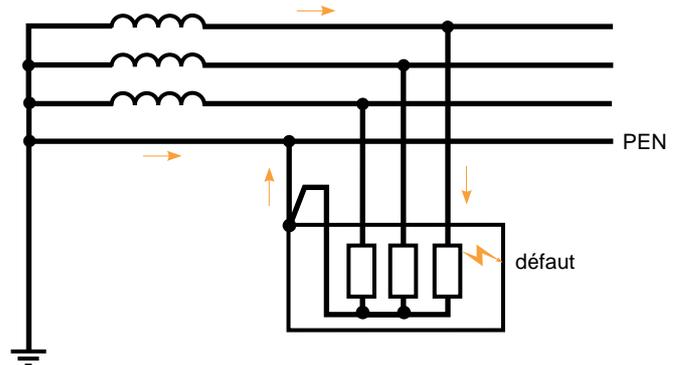


schéma TN-S

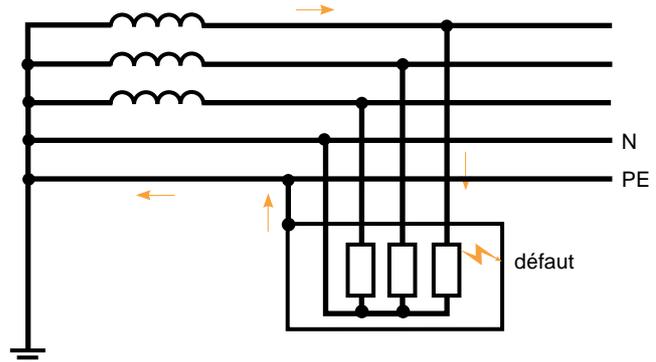


fig. 17 : schémas TN-C et TN-S.

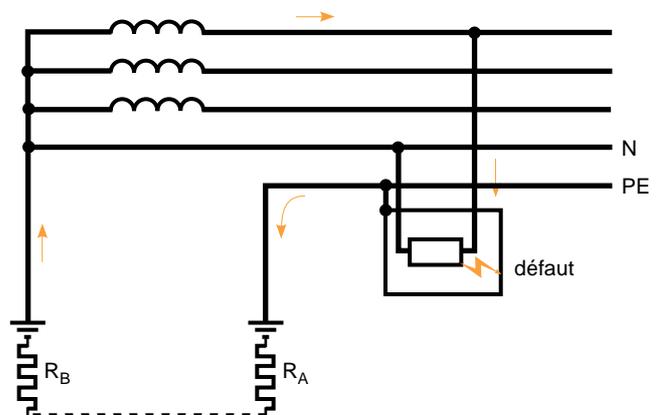


fig. 18 : schéma TT.

le schéma IT

- le neutre du transformateur n'est pas relié à la terre. Il est théoriquement isolé ; en fait, il est relié à la terre par les capacités parasites du réseau et/ou par une impédance de forte valeur $\approx 1\,500\ \Omega$ (neutre impédant),
- les masses des récepteurs électriques sont reliées à la terre.

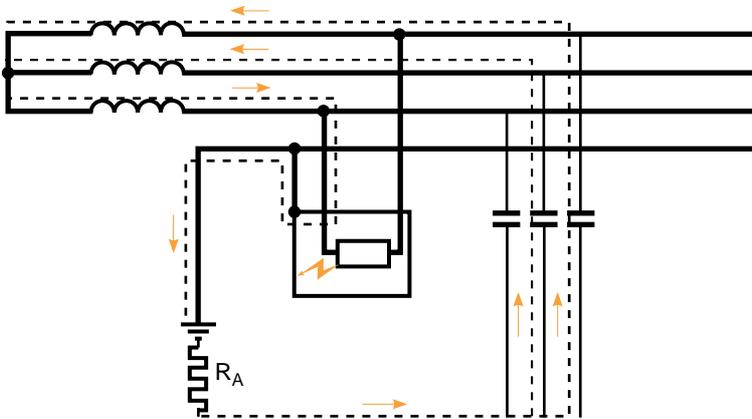
Si un défaut d'isolement se produit, un faible courant se développe du fait des capacités parasites du réseau (cf. 1^{er} schéma de la fig. 19).

La tension développée dans la prise de terre des masses (tout au plus quelques volts) ne présente pas de danger.

Si un deuxième défaut survient (cf. 2^{ème} schéma de la fig. 19), alors que le premier n'est pas éliminé, il y a court-circuit et ce sont les DPCC qui assurent la protection nécessaire.

Les masses des récepteurs concernés sont portées au potentiel développé par le courant de défaut dans leur conducteur de protection (PE).

1^{er} défaut



défaut double

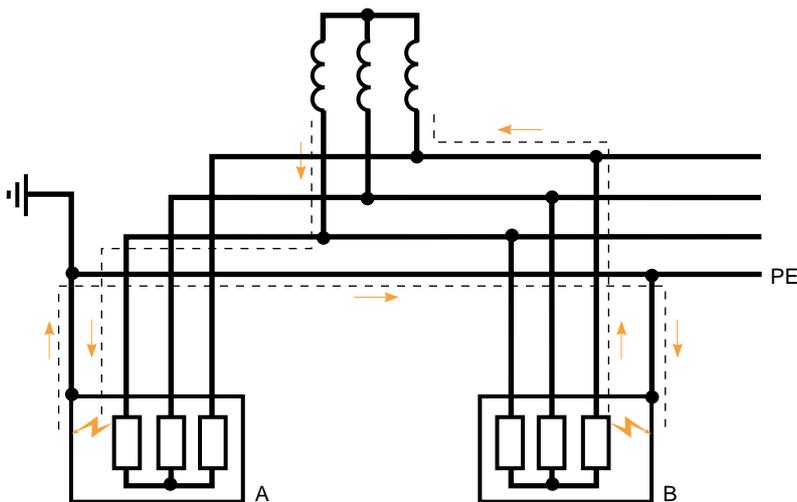


fig. 19 : schéma IT.

annexe 2 : exemple de réalisation d'un local sans perturbations électromagnétiques

Il s'agit d'une pièce dans laquelle sont réalisés des électroencéphalogrammes. Ceux-ci sont rarement lisibles (les tensions mesurées sont de niveau très faible).

quelques constats

- des tensions entre le « lit » du patient et la masse du moniteur,
- des tensions entre les masses des divers constituants du système de mesures ; entre celles-ci et les masses métalliques situées dans l'environnement du patient,
- les mesures de champ dans différentes parties du local montrent qu'il existe des champs électriques de quelques mV/m à 150 mV/m et des champs magnétiques HF de quelques mA à 10 mA (les liaisons moniteur-capteur forment des boucles et des antennes ! alors qu'il y a un scanner à proximité et un émetteur de radiodiffusion à quelque distance). Les champs magnétiques BF sont importants.

lutte contre les champs électriques

- faradisation des murs, plancher, plafond avec du grillage (+ moquette antistatique sur le plancher),
- remplacement des tubes fluorescents par des lampes à incandescence,
- remplacement du gradateur à triac par un autotransformateur variable,
- antiparasitage des interrupteurs.

lutte contre les champs magnétiques

- déplacement d'une canalisation courant fort, sous schéma TN-C, qui passait dans le local,
- réalisation d'un blindage de la gaine inter-étages qui contient les canalisations électriques de forte puissance (somme des courants non nulle dans le câble, dû au fait que le courant de neutre revient en partie à la source pour les masses métalliques du bâtiment).

lutte contre les variations de potentiel des masses et PE de la pièce

- chauffage central avec radiateurs reliés à la cage de Faraday et isolés du reste de l'installation par manchons isolants,
- passage des tuyauteries de gaz médicaux en dehors de la pièce,

- découplage du réseau électrique alimentant toutes les prises par filtre HF et transformateur BT/BT à écran (précédemment les prises étaient alimentées par plusieurs circuits d'où risque de création de boucles),
- découplage de toutes les masses et du PE du local par self (il aurait été trop coûteux de ramener directement le PE à la prise de terre du bâtiment pour réaliser une « terre sans bruit »).

Le réseau électrique de cette pièce spécialisée est ainsi passé du schéma TN-C au schéma TT impédant avec un risque nul vis à vis des contacts indirects (Z_L remplace R_B).

Dans cet exemple (illustré par la figure 20), qui correspond à un cas réel, l'action d'un spécialiste éclairé a permis de mettre en œuvre la grande majorité des solutions qui permettent d'éviter toute perturbation des équipements électroniques sensibles; ce fut le cas.

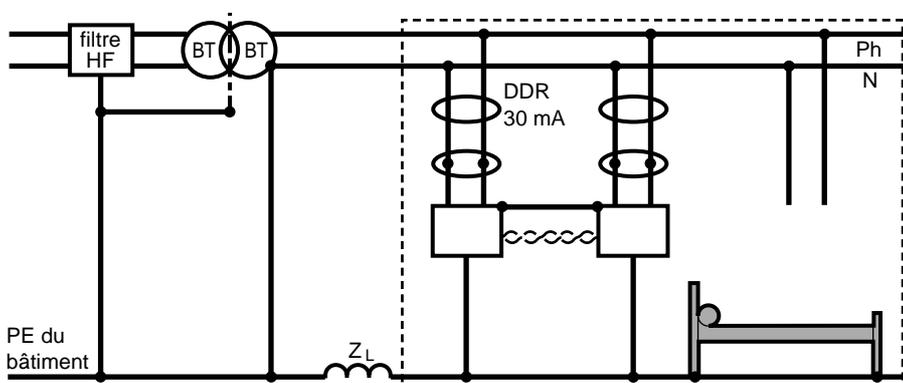


fig. 20 : alimentation d'un local sans perturbations électromagnétiques.

bibliographie

Normes et décrets

- CEI 71-2 : Coordination de l'isolement - 2ème partie : Guide d'application
- CEI 146-4 : Convertisseurs à semi-conducteurs - 4ème partie : Méthode de spécification des performances et procédures d'essais des alimentations sans interruption.
- CEI 364 : Installation électrique des bâtiments
- CEI 555-2 : Perturbations produites dans les réseaux d'alimentation par les appareils électrodomestiques et les équipements analogues - 2ème partie : Harmonique
- CEI 947-2 : Appareillage à basse tension - 2ème partie : disjoncteurs
- CEI 950 : Sécurité des matériels de traitement de l'information y compris les matériels de bureau électriques.
- CEI 1000 : Compatibilité électromagnétique
- CISPR 11 : Limites et méthodes de mesure des caractéristiques de perturbations électroniques des appareils industriels scientifiques et médicaux (ISM) à fréquence radio électrique
- NF C 15-100 : Installations électriques à basse tension

Cahiers Techniques Merlin Gerin

- La compatibilité électromagnétique
Cahier Technique n° 149 -
F. VAILLANT
- Les perturbations harmoniques dans les réseaux industriels, et leur traitement
Cahier Technique n° 152 -
P. ROCCIA et N. QUILLON
- Harmoniques en amont des redresseurs des ASI
Cahier Technique n° 160 -
JN. FIORINA
- La foudre et les installations électriques HT
Cahier Technique n° 168 -
B. De METZ NOBLAT
- Les schémas des liaisons à la terre en BT, (régimes du neutre)
Cahier Technique n° 172 -
B. LACROIX, R. CALVAS
- Les schémas des liaisons à la terre dans le monde et évolutions
Cahier Technique n° 173 -
B. LACROIX, R. CALVAS
- Surtensions et parafoudres en BT -coordination de l'isolement en BT-
Cahier Technique n° 179
Ch. SERAUDIE

Schémas de liaison à la terre



Institut Schneider Formation
CITEF S.A.
4, rue Henri Sainte Claire Deville
92500 Rueil Malmaison - France

Ce document est la propriété de l'Institut
Schneider Formation. Il ne peut être reproduit,
même partiellement et par quelque procédé que
ce soit, sans son autorisation expresse.