

Votre avis compte !

- Volta veut constamment améliorer la qualité de ses formations et votre avis est important.
- À l'aide de votre GSM, scannez ce QR-code et complétez le formulaire d'évaluation.

D'avance, nous vous en remercions.



Table des matières

1. Protection des installations électriques et des personnes
 - Contact direct
 - Contact indirect
2. Protections actives contre les contacts indirects
3. Codification des schémas de liaison à la terre (SLT)
4. Schéma TT
5. Schéma TN
6. Schéma IT
7. Comparaison entre les différents SLT

Les dangers de l'électricité



- Effets thermiques

- Incendie
- Arc électrique
- Brûlures
- Explosion

- Chocs électriques

- Electrification (issue non fatale)
- Electrocutation (issue fatale)
- Répercussions indirectes



VOLTA
UNIVERSITÉ D'ART ET D'ARCHITECTURE
CARRÉFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

À titre de rappel, commençons par un aperçu des dangers liés à l'électricité, parmi lesquels les chocs électriques qui jouent un rôle de premier ordre.

Protection contre les effets thermiques

- Surcharge – Court-circuit
- Echauffement : proportionnel à $R \times I^2 \times t$
- Fusibles ou disjoncteurs
 - Doivent pouvoir interrompre le courant avant que la chaleur produite ne cause des dégâts
 - Doit supporter le courant de court-circuit



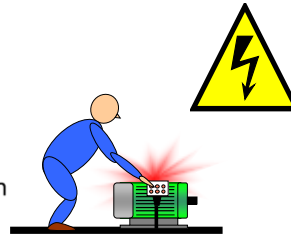
Dans la formation consacrée aux appareils de protection contre les surintensités, nous avons vu comment l'électricité est convertie en chaleur (l'effet Joule) et comment nous pouvons nous en prémunir.

Chocs électriques : Electrocution - Electrisation

Contacts directs

- Contact de personnes avec un conducteur actif ou une pièce conductrice habituellement sous tension

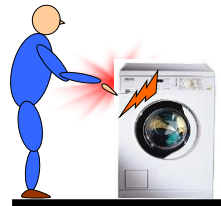
ex: bornes de raccordement d'un moteur



Contacts indirects

- Contact d'une personne avec des masses métalliques mises accidentellement sous tension suite à une faute d'isolement

ex: carcasse d'une machine à laver présentant un défaut d'isolement



VOLTA
UNIVERSITÉ EN ÉLECTRONIQUE
CARREFOUR DE L'ÉLECTROTECHNIQUE

Même si un choc électrique est toujours la conséquence d'un passage de courant par le corps (événement lors duquel le corps a fait office d'un élément conducteur dans un circuit fermé), une distinction peut être opérée entre un choc résultant d'un contact direct (lors duquel la personne touche directement un élément actif sous tension) et un choc indirect résultant d'un contact avec un élément conducteur, non actif mais ayant été mis sous tension suite à l'apparition d'un défaut d'isolement.

Protection contre les chocs électriques en cas de contact direct

- En basse et haute tension
 - Enveloppes } IP degré de protection
 - Obstacles/barrières
 - Isolation

Limite conventionnelle absolue de tension			TBTS protection CD	
Code	Etat du corps humain	Courant alternatif		Courant alternatif
BB1	Peau sèche ou humide par sueur	50 V	→	25 V
BB2	Peau mouillée	25 V	→	12 V
BB3	Peau immergée dans l'eau	12 V	→	6 V

- TBTS < $U_L / 2$
- En basse tension
 - Protection complémentaire au moyen d'un DDR (différentiel) de haute (ou de très haute) sensibilité 30 mA ou 10 mA)

U_L = tension limite conventionnelle absolue (RGIE 2.4.1. – 2.10.12.- 4.2.1.1.)

VOLTA
UNIVERSITÉ DES ÉLECTRICIENS
CARREFOUR DE L'ÉLECTROTECHNIQUE

Il va de soi que les chocs consécutifs à un contact direct sont faciles à éviter : on fait en sorte de rendre impossible le contact avec les éléments actifs sous tension. Ceci en les munissant d'un isolant ou d'une enveloppe, en les éloignant ou en installant des obstacles entre les pièces nues sous tension et la victime potentielle.

Les choses se compliquent lorsque ces moyens de protection sont retirés lors de travaux : la plus grande prudence est alors de mise et les activités impliquant un risque de choc électrique ne peuvent être accomplies que par des personnes possédant la codification BA4 et/ou BA5.

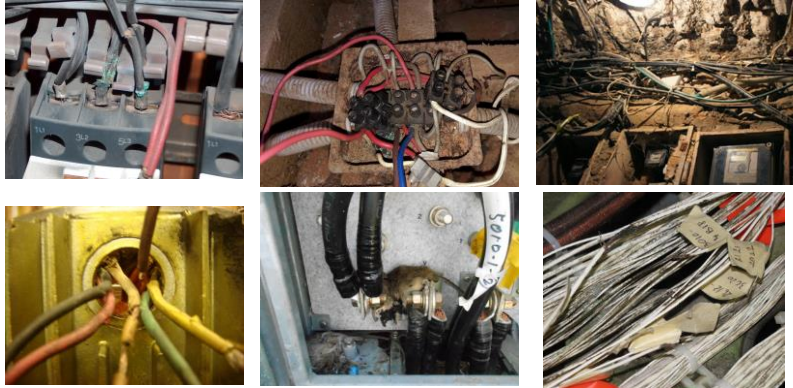
Un autre moyen pour se protéger contre les chocs électriques par contact direct est de rendre ce contact inoffensif. Ceci est possible si la tension avec laquelle on peut entrer en contact ne dépasse pas les valeurs spécifiées dans le tableau ci-dessus. Ces valeurs sont bien évidemment fonction de l'état du corps (code BB).

Elles sont définies comme étant la moitié des tensions limites conventionnelles et considérées comme étant des tensions non dangereuses.

Un autre mode de protection possible contre les chocs électriques par contact direct consiste à faire usage d'un interrupteur différentiel à haute ou très haute sensibilité. Cette méthode ne peut être utilisée que comme mesure de protection complémentaire, à savoir pour intervenir si d'autres mesures se sont révélées inopérantes ou pour protéger les utilisateurs imprudents.

Protection contre les chocs électriques en cas de contact indirect

Eviter les fautes d'isolement via une construction sûre & entretien adapté



VOLTA
UNIVERSITÉ EN ÉLECTROTECHNIQUE
CARREFOUR DE L'ÉLECTROTECHNIQUE

Diverses agressions qui sont à l'origine de défauts d'isolement:

- Durant l'installation : 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

Concernant la protection contre les chocs électriques liés à un contact indirect, on ne peut miser sur l'attention de l'utilisateur. En effet, on ne s'attend pas à ce que l'enveloppe métallique d'un appareil électrique soit sous tension. Des mesures vont donc devoir être prises pour qu'en cas de défaut d'isolement, l'installation ne représente aucun danger pour l'utilisateur. Différentes techniques sont appliquées à cet effet. On les classe en mesures actives et mesures passives.

Avec l'usage de mesures passives, le défaut d'isolement peut persister, en tout cas plus longtemps que le temps admis par la courbe de sécurité, puisque le corps de l'utilisateur n'est pas soumis à une différence de potentiel dangereuse.

Lors de l'usage de mesures actives, l'alimentation du circuit dans lequel le défaut d'isolement survient est immédiatement interrompue, et ce dans le temps prévu par la courbe de sécurité.

Protection contre les chocs électriques en cas de contact indirect

Protection passive : qui n'interrompt pas l'alimentation

- Isolation classe II ou équivalent : 
- TBTS : 
- Séparation électrique (transfo d'isolement) : 
- L'équipotentialité des masses simultanément accessibles. 
- Rendre le contact simultané entre ddp $\neq$ impossible : éloignement, obstacles, isolation des pièces conductrices étrangères au circuit

VOLTA
UNIVERSITÉ D'ARTS ET DE MÉTIERS
CARRIFOU DE L'ÉLECTROTECHNIQUE

Isolation classe II ou équivalente:

Même si l'appareil électrique comporte des parties métalliques, les parties actives « ne vaincront » jamais deux isolations consécutives. Les parties métalliques ne se retrouveront donc jamais sous tension. Il n'y a donc aucun risque qu'un défaut d'isolement débouche sur une situation dangereuse.

TBTS ou très basse tension de sécurité:

Il est évident que si la tension est trop faible pour causer un choc électrique dangereux, il n'y a pas non plus de danger en présence d'un défaut d'isolement. Attention, les valeurs applicables ici sont celles des tensions limites conventionnelles.

TBTP : très basse tension de protection.

La TBTP diffère de la TBTS par le fait qu'un point du circuit peut être relié à la terre en TBTP.

Prenons le cas d'un transformateur TBTP 48 V et que le potentiel de ce point mis à la terre s'est élevé à 50 V → dans le cas d'un défaut d'isolement au niveau de l'appareil, la masse de celui-ci est portée à un potentiel par rapport à la terre de: $48 + 50V > U_L$

Zone équipotentielle :

lorsque toutes les masses et pièces conductrices étrangères sont interconnectées elles sont donc à un potentiel identique. Dans ce cas, il est impossible de percevoir une différence de potentiel lorsque l'on touche deux éléments simultanément. Même si l'ensemble est sous une tension potentiellement dangereuse, la personne ne ressentira aucune différence de potentiel et sera protégée contre les chocs électriques. Cette technique sera très fréquemment appliquée lorsque des masses sous haute et basse tension sont présentes dans un même local et où la tension de défaut consécutive à un défaut d'isolement au niveau de la haute tension ne peut être interrompue dans le temps imposé par la courbe de sécurité.

Protection contre les chocs électriques en cas de contact indirect

Protection active: qui interrompt l'alimentation



- Coupure automatique de l'alimentation :
 - L'interruption doit être suffisamment rapide et respecter la courbe de sécurité
 - Il faut tenir compte :
 - ✓ de l'impédance de la boucle de défaut
 - ✓ du type de schéma de liaison à la terre en présence (RGIE 3.2.2.2. TN– RGIE 3.2.2.3. TT– RGIE 3.2.2.4. IT)
- Exige que les masses soient reliées au moyen d'un conducteur de protection

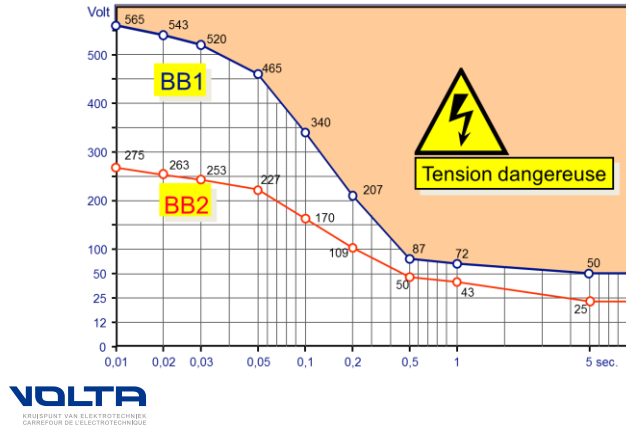
VOLTA
UNIVERSITÉ D'ARTS, DESSIN, ARCHITECTURE
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

- Les masses des récepteurs et équipements électriques sont mis à la terre pour éviter qu'un défaut d'isolement présente un risque équivalent à un contact direct
- Lors 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

Comme nous devons détecter si un défaut d'isolement est survenu et donc qu'une tension est apparue au niveau de l'une ou l'autre masse ou pièce conductrice étrangère, nous devons relier toutes ces masses ou pièces conductrices étrangères avec un conducteur de protection (le conducteur jaune/vert). Nous verrons par la suite comment utiliser ces conducteurs de protection pour détecter les défauts d'isolement et supprimer les situations dangereuses dans le temps prévu par les courbes de sécurité.

L'interruption doit être suffisamment rapide!

- L'appareil de protection doit avoir des caractéristiques de fonctionnement qui respectent la courbe de sécurité



Voici une représentation de la courbe de sécurité.

En fonction de l'état du corps humain (BB1 sec / BB2 mouillé), certaines tensions sont considérées comme non dangereuses et il n'y a donc pas de nécessité d'interruption (50 V pour BB1 et 25 V pour BB2). Si une tension de défaut s'élève, par exemple à 207 V, celle-ci doit être interrompue dans un délai de 0,2 s.

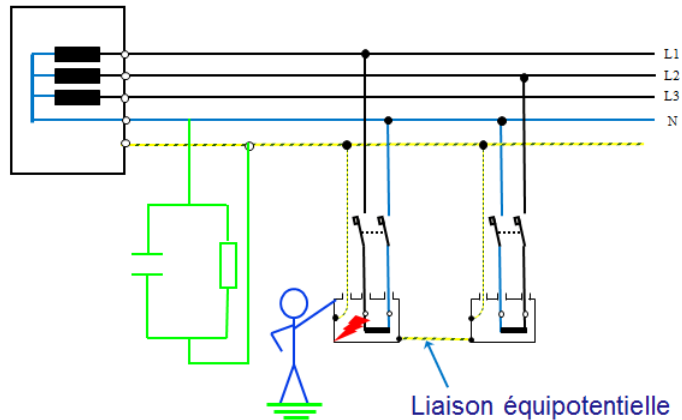
Protection active contre les chocs indirects

- **Objectif** : détecter la faute d'isolement
→ interrompre l'alimentation
- **Détecter** → besoin d'un conducteur de protection
 - PU: Protective Unearthed
 - PE: Protective Earthed

Il ressort clairement de ce qui précède qu'une protection active contre les chocs électriques par contact indirect assure que jamais une tension dangereuse ne va persister sur les masses ou les pièces conductrices étrangères plus longtemps que ne le permet la courbe de sécurité.

Comme nous le verrons plus loin, certains schémas non reliés à la terre permettent qu'un défaut d'isolement n'engendre pas de différence de potentiel dangereuse. Ceci car la tension de défaut est "flottante" et qu'il n'y a donc pas de potentiel fixe par rapport à la terre.

IU - réseau non relié à la terre



VOLTA
INSTITUT VAN ELKTRONISCHER
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

IU signifie que le réseau n'est pas relié à la terre et qu'il n'y a pas de liaison entre une partie active et les masses.

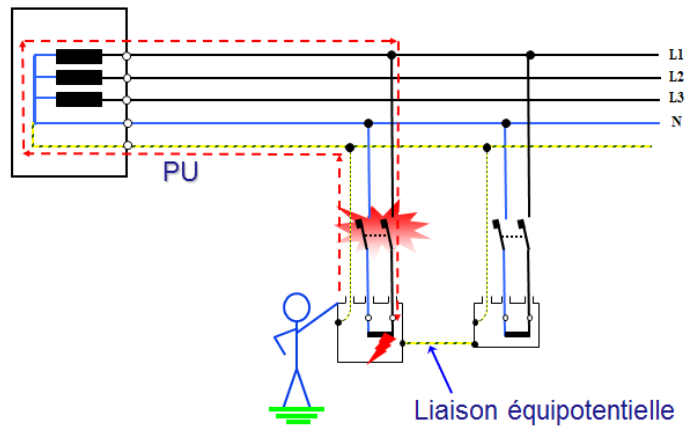
Dans un réseau non relié à la terre, aucun courant ne va circuler en cas de premier défaut d'isolement, étant donné qu'il n'y a pas de circuit fermé.

Néanmoins, la prudence s'impose. En effet, comme le montre la figure, un « courant de fuite » peut malgré tout circuler via les fuites capacitives qui peuvent survenir dans le cas de réseaux étendus, par exemple.

On est en présence d'un conducteur de protection **PU non relié à la terre** (PU: Protective Unearthed)

Difficile à réaliser en pratique. En effet, comment être assuré qu'aucune masse n'est effectivement pas reliée à la terre

IN- réseau non relié à la terre



VOLTA
UNIVERSITÉ D'ARTS ET DE TECHNOLOGIE
CARTELOIR DE L'ELECTROTECHNIQUE

IN signifie que le réseau n'est pas relié à la terre mais qu'une partie active (ici le conducteur neutre) est reliée aux masses. Si un défaut d'isolement survient, le courant de défaut va circuler via le PU (et se comporter comme un court-circuit). Les appareils de protection contre les surintensités vont réagir.

Protection active contre les chocs indirects

Au moyen d'un conducteur de protection PE relié à la terre

- différents modes de réalisation possibles
- différents "Schémas de liaison à la terre"

Un schéma de liaison à la terre est caractérisé par :

- le mode de liaison du réseau de distribution (du secondaire du transformateur MT/BT) à la terre
- et
- les manières de relier les masses de l'installation électrique à la terre

Codification des schémas de liaison à la terre

- Code comportant deux lettres, éventuellement complété par une troisième voire une quatrième
 - 1**ère lettre : mode de liaison à la terre du réseau de distribution
 - 2**ème lettre : mode de liaison à la terre des masses
 - 3**ème et/ou **4**ème lettre : définit le lien éventuel entre le conducteur de protection et le conducteur neutre

1^{ère} lettre de la codification

- Relation entre le réseau de distribution (parties actives de la source de courant) et la terre

T : Un point relié à la terre

I : Isolé par rapport à la terre
ou raccordé à la terre via une impédance

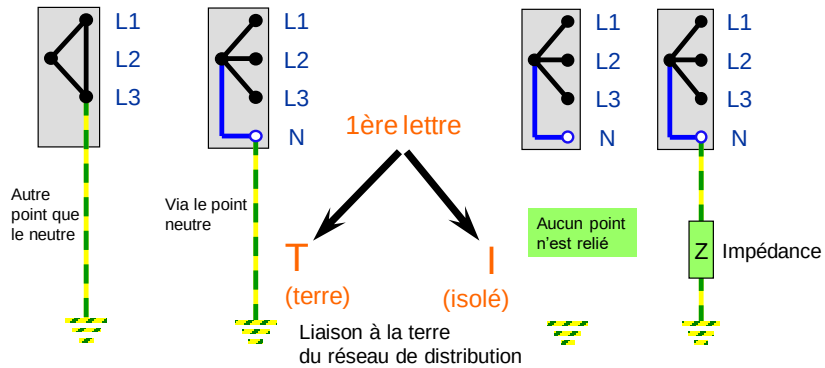


T : un élément actif, une phase ou le point neutre est relié(e) à la terre.

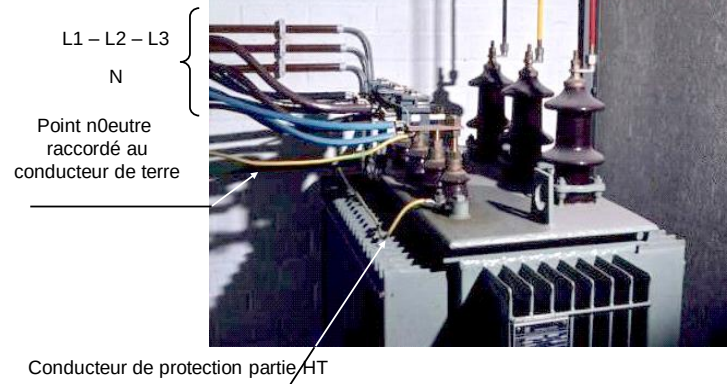
I : il n'y a pas de liaison entre un élément actif du réseau d'alimentation et la terre, ou s'il y a une liaison ce sera au travers d'une impédance.

1ère lettre de la codification

Comment le réseau de distribution est-il relié à la terre ?



Raccordement du point neutre du transformateur HT/BT avec la terre (T)



VOLTA
INSTITUT VAN ELKTRONIEK
 CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Le code T désigne le raccordement du point neutre avec la terre.

Le conducteur de protection jaune/vert qui relie la masse du transformateur à la terre n'intervient pas ici.

2^{ème} lettre de la codification

- Relation entre les masses de l'installation électrique et la terre

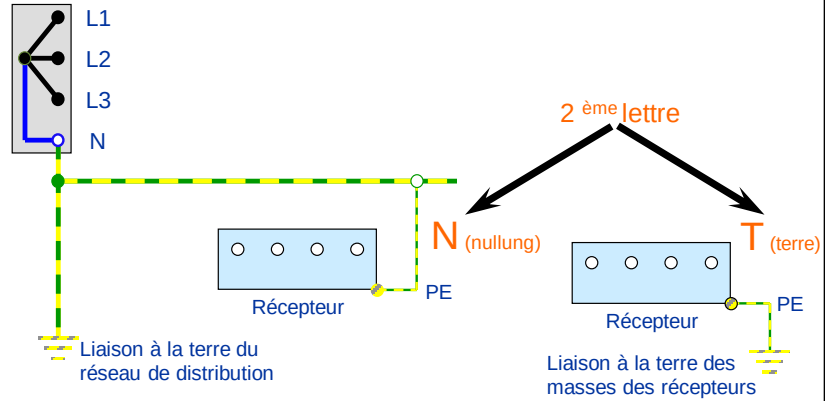
T Reliées à la terre
terre propre distincte de la terre du réseau de distribution

N Reliées à la terre du réseau de distribution
(Nullung)

La deuxième lettre indique si les masses des appareils BT sont reliées à une terre séparée ou reliées à la terre du réseau.

2^{ème} lettre de la codification

Comment les masses des récepteurs sont-elles reliées à la terre?



Voici quelques exemples de modes de liaison des masses à la terre.

3^{ème} et/ou 4^{ème} lettre de la codification

- Spécifique au SLT du type TN:

Relation entre le conducteur de protection (PE) et le conducteur neutre :

TN-C Combiné → PEN

TN-S Séparé → PE en N

TN-C-S Combiné TN-C suivi de Séparé TN-S



Dans un réseau TN, le conducteur de protection et le conducteur neutre éventuel peuvent être sous la forme d'un seul et même conducteur ou sous la forme de deux conducteurs séparés.

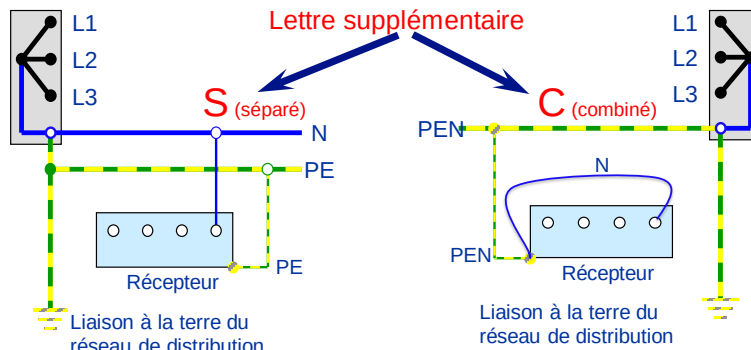
C pour « commun ou combiné » : un seul et même conducteur

S pour séparé : conducteurs séparés

3^{ème} et/ou 4^{ème} lettre de la codification

Seulement d'application pour le système TN

Comment les conducteurs PE et N sont-ils distribués?



VOLTA
INSTITUT VAN ELKARTOENOMIEK
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Voici quelques exemples de réalisation du conducteur neutre et de protection.

Les schémas de liaison à la terre en pratique

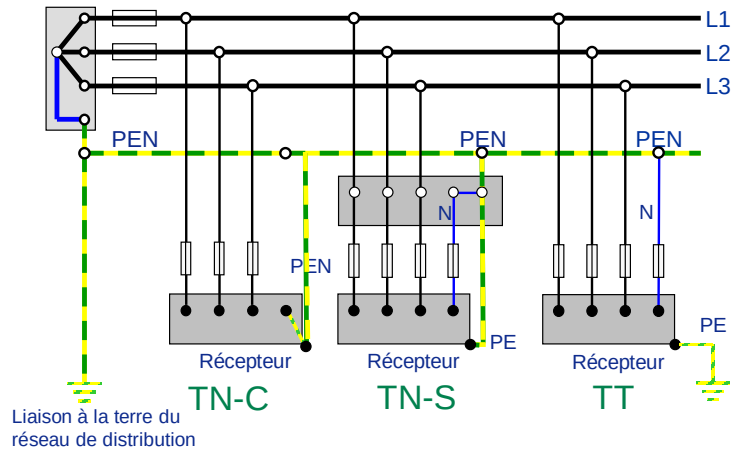
Les schémas de liaisons à la terre repris dans le RGIE

1. TT
2. TN
 - TN-C
 - TN-S
 - TN-C-S
3. IT
 - Sans neutre
 - Avec neutre

VOLTA
INSTITUT VAN ELKTRONIEK
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Nous aboutissons en fin de compte aux schémas présentés ici.

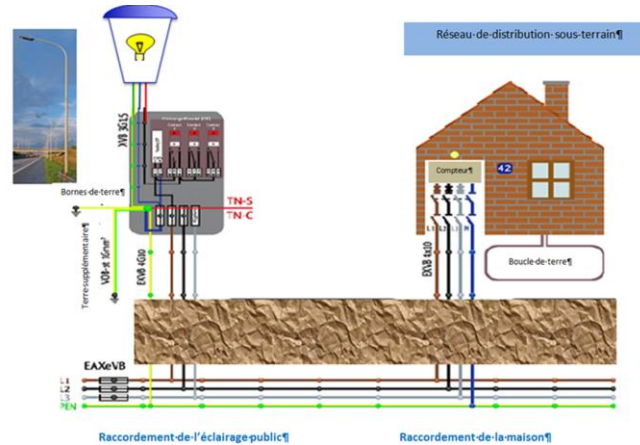
TN-C-S et TT



VOLTA
 INSTITUT VAN ELEKTROTECHNIEK
 CARREEFPOUR DE ELECTROTECHNIEK

Un exemple de trois schémas de liaison à la terre possibles partant d'un seul transformateur. Pour déterminer le type de schéma de liaison à la terre en présence, il va falloir analyser tant la relation réseau/terre que la relation masse/terre. Il est ainsi possible d'avoir différents schémas dans une seule et même installation.

TN-C-S et TT

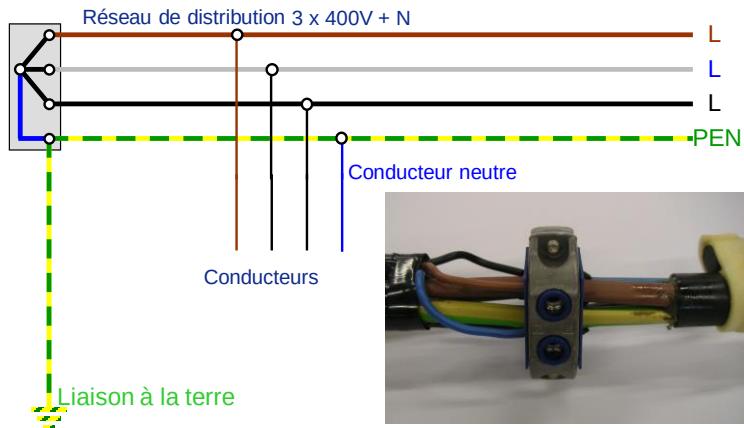


VOLTA
UNIVERSITÉ D'ÉLECTROTECHNIQUE
CARREFOUR DE L'ÉLECTROTECHNIQUE

Le câble souterrain comporte trois conducteurs de phase et un conducteur PEN. Dans la première dérivation à gauche (vers un poteau d'éclairage), le conducteur jaune/vert est tiré jusqu'à la borne du boîtier de dérivation du poteau. À cet endroit, le conducteur de protection est pourvu d'une mise à la terre supplémentaire. Il est en outre scindé en PE et en conducteur neutre (bleu). Le câble d'alimentation vers la lampe comporte un conducteur de protection, un conducteur neutre et un conducteur de phase.

En ce qui concerne la dérivation vers la maison, nous voyons que la dérivation au niveau du conducteur PEN jaune/vert se compose d'un conducteur bleu. Le conducteur de protection n'est donc pas fourni et la maison devra disposer de son propre dispositif de mise à la terre (boucle de terre).

Code couleur des conducteurs

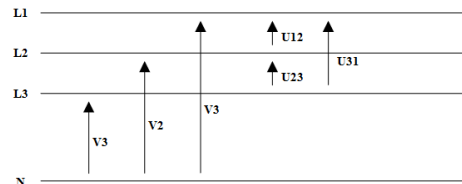


VOLTA
UNIVERSITÉ VAN ELST-PROTECTOR
 CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Pour un conducteur PEN, le PE prime et ce conducteur sera donc jaune/vert. La photo nous montre une dérivation comportant un conducteur bleu sur le conducteur jaune/vert. Cela signifie que seul le neutre est tiré du conducteur PEN, et qu'aucun conducteur de protection n'est donc dérivé.

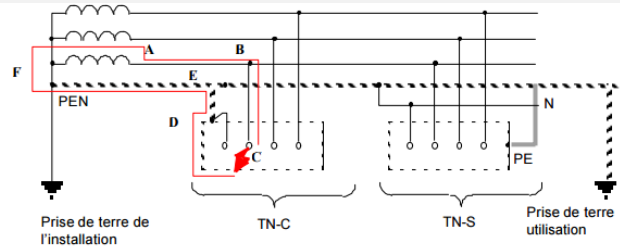
Quelques définitions

- Les tensions simples V_1, V_2, V_3 :
Elles représentent les différences de potentiel entre chaque fil de ligne et le neutre. Elles sont aussi appelée tension de phase (230V). Leur valeur efficace est notée V .
- Les tensions composées U_{12}, U_{23}, U_{31} :
Elles représentent les différences de potentiel entre deux fils de ligne. Elles sont aussi appelées tensions de ligne (400V). Leur valeur efficace est notée U .



Quelques définitions

Boucle de défaut :



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

Quelques définitions

Tension de défaut et tension de contact:

l'hypothèse retenue par les normalisateurs $U_c = U_d$ est appliquée car U_c 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.

Schéma TT

VOLTA
INSTITUT VAN ELIA-PROTECHNIEK
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE



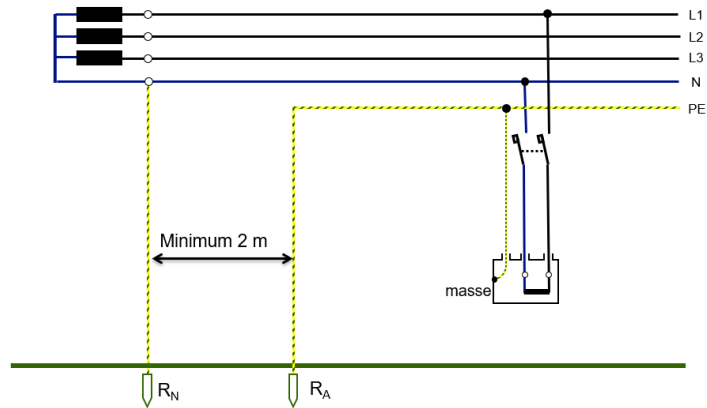
Schéma TT

- Réseau de distribution:
Le point neutre de la source BT ou un point des conducteurs actifs est directement relié à la terre.
- Masses de l'installation électrique:
Toutes les masses de l'installation sont reliées à la terre, via une ou plusieurs liaisons distinctes. Ces dernières étant elles-mêmes électriquement indépendante de la liaison à la terre de la source.

Liaison à la terre : une ou plusieurs électrodes de terre reliées entre elles en permanence.
L'électrode de terre est l'élément installé dans le sol qui assure un raccordement électrique avec la terre.

Un point du réseau est raccordé à la terre, les masses de l'installation BT sont également reliées à la terre, mais avec une liaison de mise à la terre séparée.

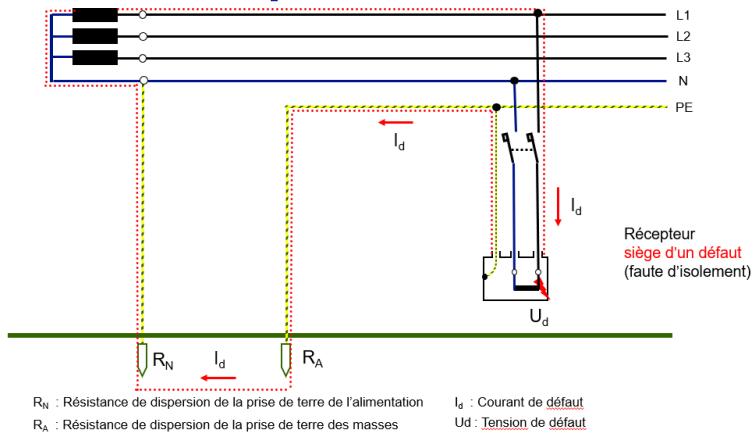
Schéma TT



R_N : Résistance de dispersion de la prise de terre de l'alimentation

R_A : Résistance de dispersion de la prise de terre des masses

Schéma TT: Défaut d'isolement entre conducteur de phase et la masse

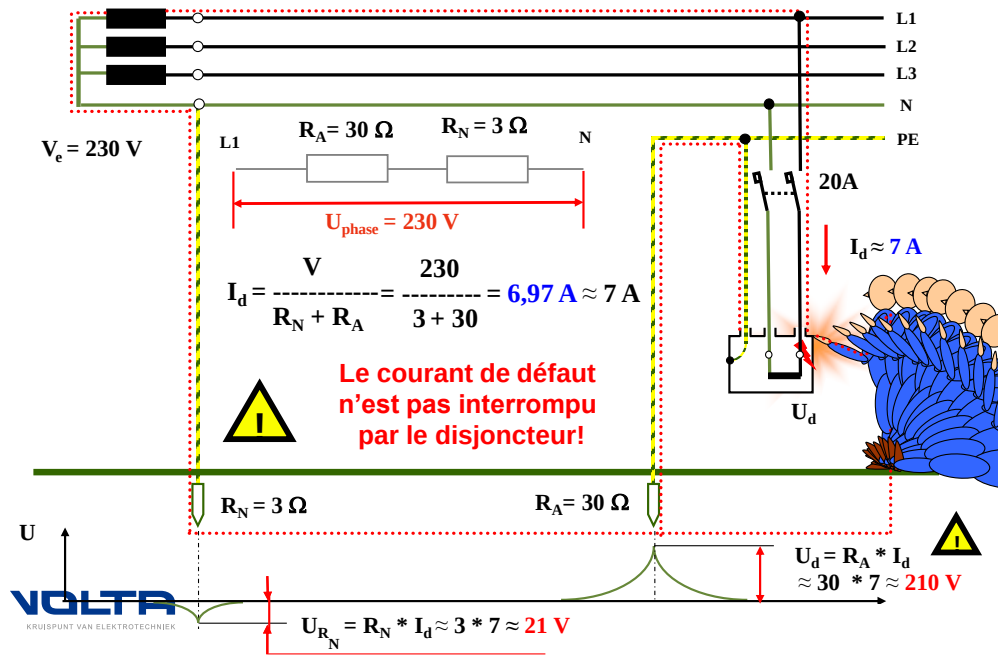


Lorsqu'un défaut d'isolement survient (conducteur de phase en contact avec la masse), on constate l'apparition d'un nouveau circuit fermé, dont la terre est une composante.

- source
- conducteurs de phase
- Masse du récepteur
- conducteurs PE
- liaison à la terre des masses
- terre
- liaison à la terre du réseau de distribution (généralement le point neutre du transformateur HT/BT).

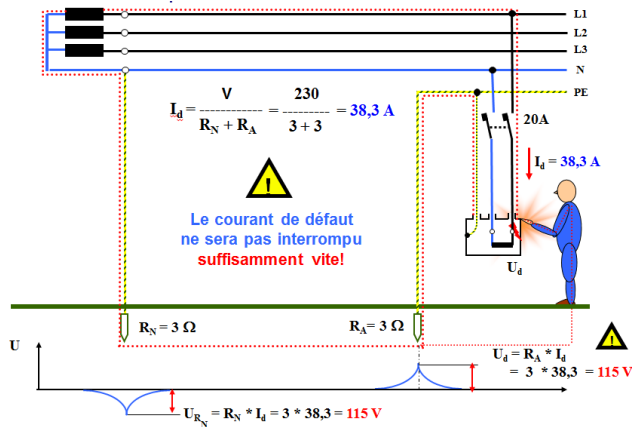
La résistance (impédance) de la boucle de défaut a une valeur élevée engendrant un courant de défaut plutôt limité.

Schéma TT: Défaut d'isolement entre phase et masse



Dans l'exemple, le courant de défaut est limité à 6,97 A. Le courant nominal du dispositif de protection contre les surintensités est de 20 A et ne va donc pas interrompre le courant de défaut. La tension de défaut sur la masse s'élève toutefois à 210 V, ce qui est une tension dangereuse inadmissible.

Schéma TT: Défaut d'isolement entre phase et masse

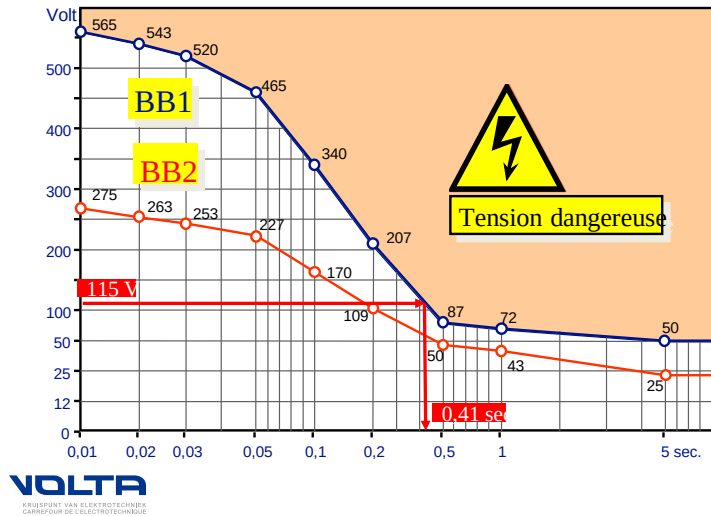


VOLTA
INSTITUT VAN ELKROTECHNIEK
CARTEFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Dans l'exemple précédent, le rapport entre les résistances de dispersion à la terre du point neutre et des masses BT était très élevé. Prenons l'exemple de deux points de contact à la terre dont la résistance est de 3 ohm : le courant de défaut s'élève à 38,3 A et la tension de défaut sur la masse BT chute à 115 V.

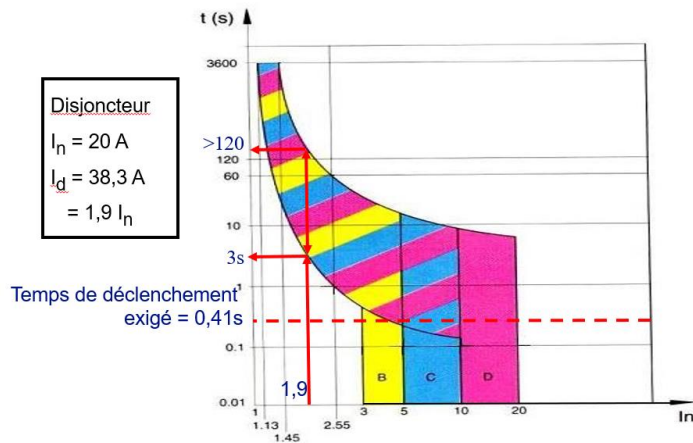
Même si ceci constitue une amélioration, ce n'est pas suffisant pour assurer la sécurité : sur la diapositive suivante, nous allons voir que le disjoncteur n'interrompt pas le circuit défaillant dans le temps requis.

Courbe de sécurité



Sur la diapositive précédente, nous avons vu que la tension de défaut s'élève à 115 V. Sur la courbe de sécurité, nous constatons que pour une situation BB1 (état du corps sec), cette tension ne peut être supportée plus de 0,41 seconde.

Courbes de déclenchement des disjoncteurs



VOLTA
 INSTITUT VAN ELEKTROTECHNIEK
 CARTEFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Le courant de défaut s'élève à 38,3 A, soit 1,9 fois le I_n du disjoncteur (20 A). Sur la courbe de déclenchement du disjoncteur, nous voyons qu'en présence d'une surintensité de $1,9 \times I_n$, le disjoncteur va déclencher entre le 3 et une valeur supérieure à 120 s. Cette valeur est très largement supérieure à la durée de 0,41 s exigée par la courbe de sécurité et la situation est donc dangereuse car le disjoncteur ne déclenche pas assez tôt.

Schéma TT: Défaut d'isolement entre phase et masse

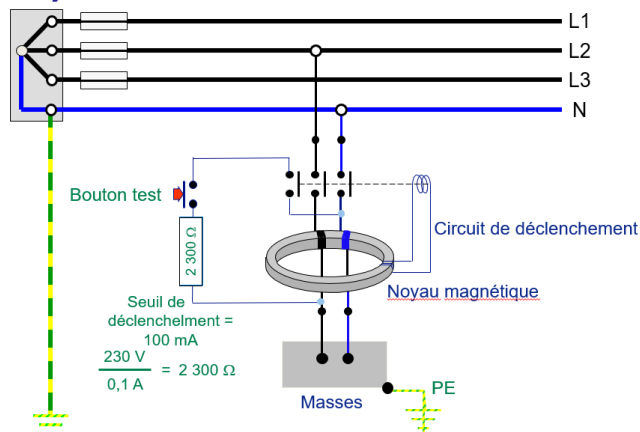
- Un des dispositifs de protection suivant doit être utilisé:
 - Dispositif à courant différentiel-résiduel (DDR)
 - Dispositif de protection contre les surintensités
 - Dispositif de protection sensible au défaut de tension
- Pour la valeur de la tension de défaut attendue, le **temps de réaction** du dispositif de protection ne peut **pas être supérieur au temps maximum défini par la courbe de sécurité**.

Sur les diapositives qui précèdent, nous avons vu que le courant de défaut n'est pas suffisamment élevé pour faire déclencher le disjoncteur dans le temps requis. Si les points de contact à la terre présentent une faible résistance de dispersion, l'intensité du courant de défaut va augmenter. Si en outre, le courant nominal du dispositif de protection contre les surintensités est faible, on devrait pouvoir se protéger contre le contact indirect au moyen de dispositifs de protection contre les surintensités.

Dans la pratique, on fera cependant toujours appel à des dispositifs à courant différentiel-résiduel automatiques.

La troisième possibilité réside dans une protection basée sur la tension de défaut. On mesure la tension entre le PE et une électrode de terre auxiliaire, ce qui permet de piloter un relais de contrôle de tension. L'électrode de terre auxiliaire doit être séparée électriquement et être indépendante de toutes les autres masses métalliques reliées à la terre. Elle doit être placée à au moins 15 m des autres liaisons à la terre.

Dispositif à courant différentiel-résiduel (DDR)



VOLTA
UNIVERSITÉ DE L'ÉLECTROTECHNIQUE
CARREFOUR DE L'ÉLECTROTECHNIQUE

Un dispositif à courant différentiel-résiduel (DDR) réagit lorsque l'intensité du courant entrant diffère de l'intensité du courant sortant. Ceci se produit lorsqu'un courant de fuite s'écoule à la terre suite à un défaut d'isolement dans un appareil.

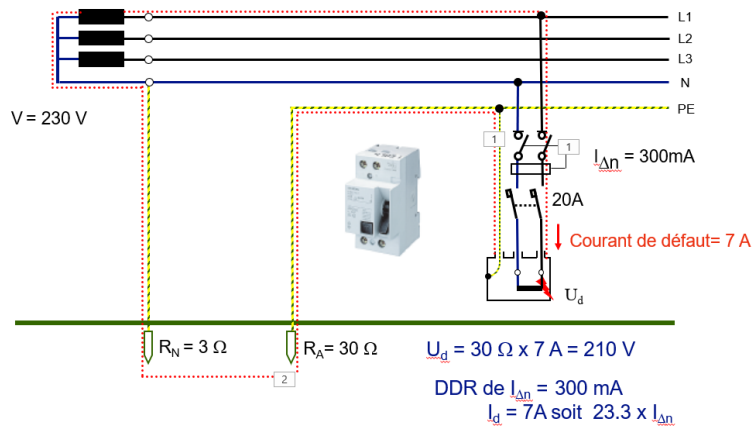
Cette différence entre courant entrant et sortant provoquera le déclenchement du DDR.

La valeur de la différence de courant qui provoque le déclenchement détermine la sensibilité de l'appareil.

Selon la sensibilité de l'appareil, les dispositifs à courant différentiel-résiduel sont classés en quatre catégories :

- les dispositifs de faible sensibilité pour lesquels la valeur du courant de déclenchement est supérieure à 1 000 mA ;
- les dispositifs de sensibilité moyenne pour lesquels la valeur du courant de déclenchement est supérieure à 30 mA et inférieure ou égale à 1 000 mA. Les valeurs normalisées de ces courants de déclenchement sont de 100, 300, 500 et 1000 mA ;
- les dispositifs à haute sensibilité pour lesquels la valeur du courant de déclenchement est supérieure à 10 mA et de maximum 30 mA ;
- les dispositifs à très haute sensibilité pour lesquels la valeur du courant de fonctionnement est de maximum 10 mA.

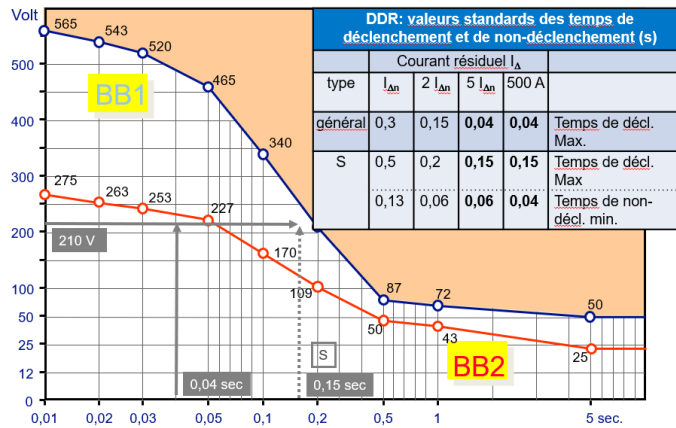
Schéma TT: Défaut d'isolement entre phase et masse



VOLTA
UNIVERSITÉ VAN ELSTROTECHNIEK
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Si nous envisageons de nouveau un défaut d'isolement entre une phase et la masse, nous constatons que le courant de défaut qui apparaît va provoquer l'activation de l'interrupteur différentiel. Le circuit de défaut est interrompu dans le temps requis.

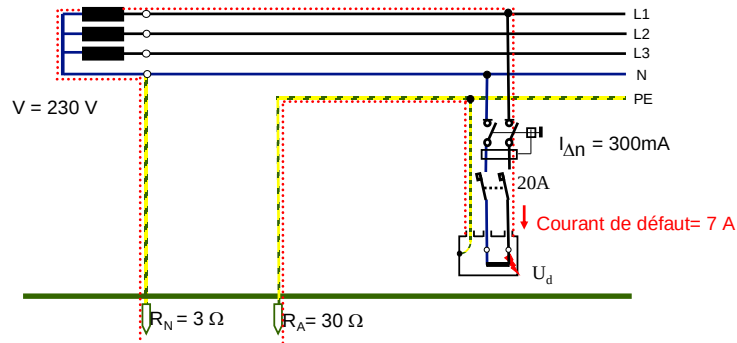
Courbe de sécurité



VOLTA
UNIVERSITÉ VAN ELSEN-PROTECTOR
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Dans le tableau, issu de la norme européenne relative aux dispositifs à courant différentiel-résiduel, nous voyons les valeurs normalisées des temps de déclenchement et de non-déclenchement. Le différentiel de type S (pour *sélectif*) continuera d'offrir une solution sûre pour une situation BB1 car en dépit du retard, le différentiel va déclencher dans le temps prévu par la courbe de sécurité.

Schéma TT: Défaut d'isolement entre phase et masse



La boucle de défaut est interrompue par le DDR dès que $I_{\Delta n} \geq 300 \text{ mA}$

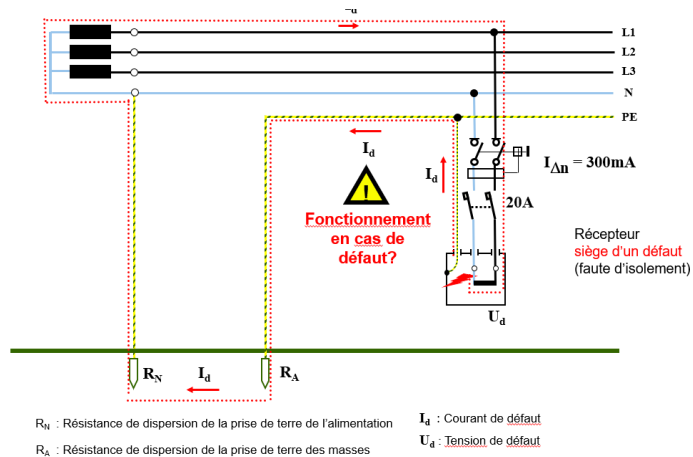
La tension de défaut max qui peut subsister est de: $U_d = 30 \Omega \times 0,3 \text{ A} = 9 \text{ V}$

VOLTA
INSTITUT VAN ELKROTECHNIEK
CENTRUM DE ELECTROTECHNIEK

En présence d'un courant de défaut de par exemple 7 A, le différentiel va déclencher immédiatement. Dans l'hypothèse où le courant de défaut serait très limité (en raison d'un défaut d'isolement impédant) et ne provoquerait pas le déclenchement de l'interrupteur différentiel, il n'y a aucun danger de choc électrique par contact indirect, car la tension de défaut maximum pouvant se maintenir sur la masse ne s'élève qu'à $U_f = R_A \times I_{\Delta n}$.

Soit pour notre exemple : $30 \text{ ohm} \times 300 \text{ mA} = 9 \text{ V}$!

Schéma TT: Défaut d'isolement entre neutre et masse



VOLTA
 INSTITUT VAN ELKRECHTEN
 CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Envisageons maintenant la situation dans laquelle le point neutre du transformateur est relié à la terre et où le conducteur neutre est en contact avec la masse en raison d'un défaut d'isolement.

En présence d'un défaut d'isolement entre le conducteur neutre et la masse, un courant de défaut très limité circule dans le conducteur PE.

Ce courant de défaut limité est tributaire :

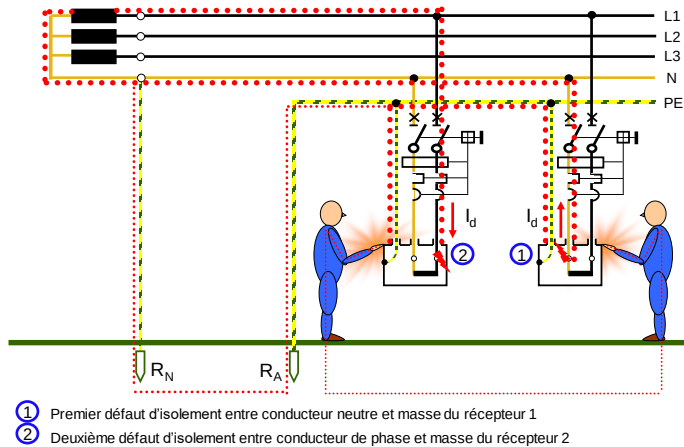
- de la chute de tension dans le conducteur neutre ;
- des résistances de dispersion R_N et R_A .

Le défaut d'isolement n'est pas nécessairement détecté par l'interrupteur différentiel !

Il n'y a malgré tout aucun problème car aucune tension de défaut dangereuse n'est présente.

Un défaut d'isolement au niveau du conducteur neutre peut être difficile à détecter. Lorsque le récepteur est en fonctionnement, du courant circule dans le conducteur neutre. La différence

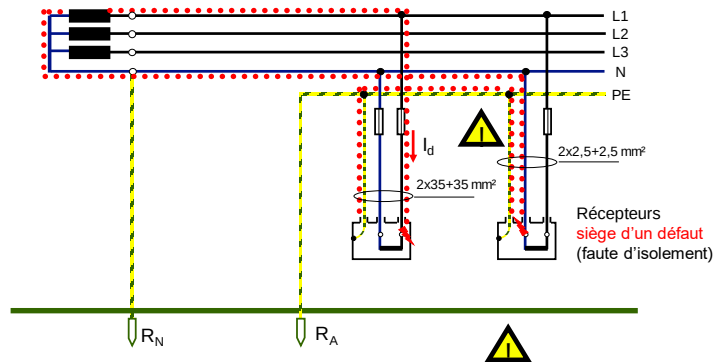
Schéma TT - défaut double:masse/neutre et phase/masse



VOLTA
UNIVERSITÉ EN ÉLECTROTECHNIQUE
CARREFOUR DE L'ÉLECTROTECHNIQUE

- En cas d'un deuxième défaut d'isolement entre conducteur de phase et la masse d'un autre récepteur apparaît une boucle de défaut constituée d'éléments très conducteurs: Conducteur de phase, masses, PE et conducteur neutre
- La faible résistance (impédance) de cette boucle génère un courant de grande intensité comparable à un courant de court-circuit

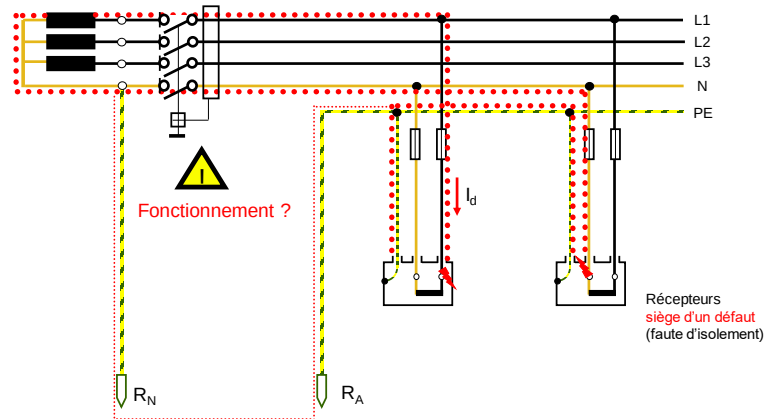
Risque d'endommagement du conducteur neutre s'il est de section inférieure et non protégé



R_N : Résistance de dispersion de la prise de terre de l'alimentation
 R_A : Résistance de dispersion de la prise de terre des masses

VOLTA
 INSTITUT VAN ELKROTECHNIEK
 CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Déclenchement du DDR n'est pas garanti



Déclenchement du DDR n'est pas garanti

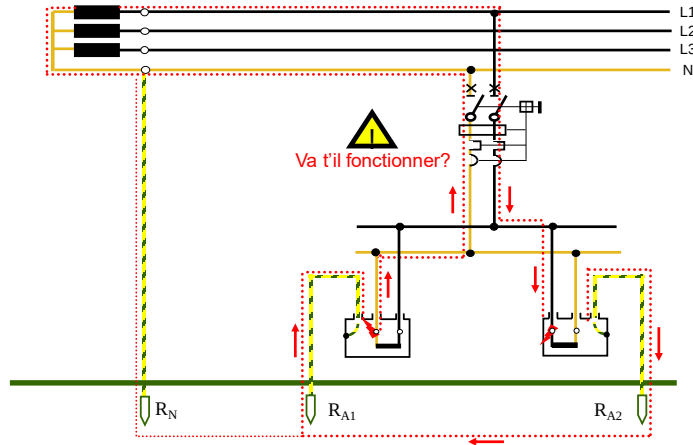
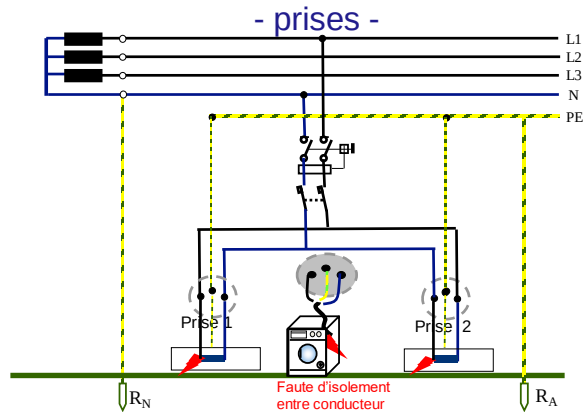


Schéma TT: Défaut d'isolement dans le récepteur



VOLTA
KRUIJSPUNT VAN ELEKTROTECHNIEK
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Prenons par exemple un défaut dans un appareil : « défaut d'isolement entre le conducteur noir et la masse ».

Si l'appareil est branché sur la prise de gauche, l'interrupteur différentiel va déclencher car la phase est en contact avec la masse.

S'il est branché sur la prise de droite, il n'est pas certain que l'interrupteur différentiel va déclencher (voir diapositive précédente) car nous avons maintenant un défaut au niveau du conducteur neutre.

Schéma TT: Installation PV

Note n° 71 aux organismes de contrôles:

- **Contrôle visuel**

Le contrôle visuel comporte au minimum les vérifications suivantes:

-
- Il y a au moins un dispositif de courant différentiel de 300 mA au départ de l'installation comme défini dans le RGIE 4.2.3.2. et 4.2.4.3. ;
- Il y a au moins un dispositif de courant différentiel de type A au départ de l'installation photovoltaïque conformément au RGIE 2.6.4.- 5.1.3.3. (ce DDR peut être le même que celui mentionné au point ci-dessus) ;
- ...

VOLTA
INSTITUT VAN ELKARTOEGEN
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Lorsque l'on ajoute une installation photovoltaïque à une installation existante, il convient de vérifier qu'au moins un interrupteur différentiel de type A se situe au départ de l'installation PV. Si un tel dispositif est déjà placé en tête d'installation, alors la situation est conforme à la réglementation.

Schéma TT: Installation PV

Note n° 71 aux organismes de contrôles :

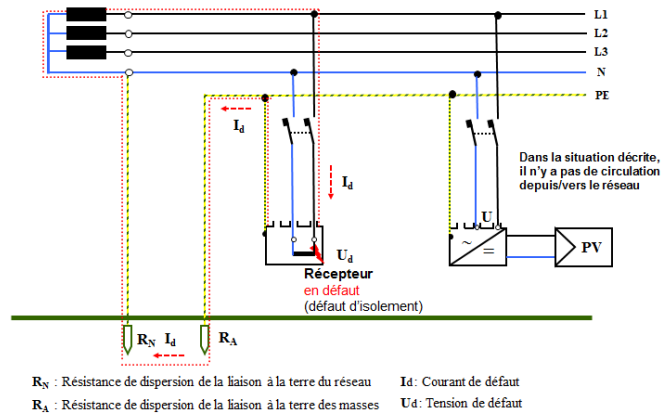
- **Essais et mesures**

- Mesure de la continuité des conducteurs de protection
- Mesure de la résistance d'isolation de la partie en courant alternatif de l'installation électrique
- Coupure automatique de l'alimentation dans le cadre de la protection contre les chocs électriques par contact indirect:
 - mesure de la résistance de dispersion à la terre;
 - contrôle du fonctionnement des systèmes de courant différentiel via le bouton-test ;
 - Contrôle de la boucle de défaut et du bon raccordement du DDR via la simulation d'un courant de défaut égal à au moins une fois la sensibilité nominale de l'appareil ;

VOLTA
INSTITUT VAN ELSEN-PROTECHNIEK
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Lors du contrôle d'une installation PV, les inspecteurs des organismes agréés doivent, entre autres, tester le fonctionnement de l'interrupteur différentiel.

Schéma TT: Faute d'isolement entre phase et masse

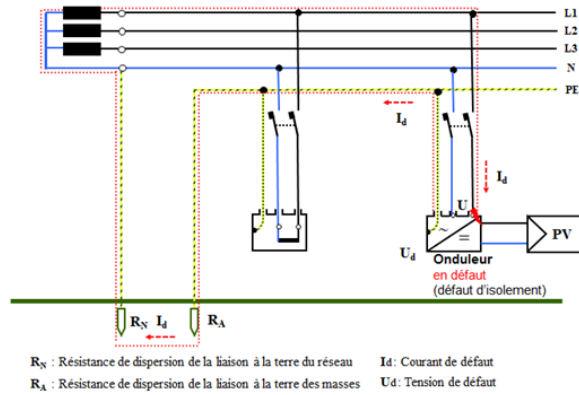


VOLTA
 INSTITUT VAN ELKROTHOORN
 CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

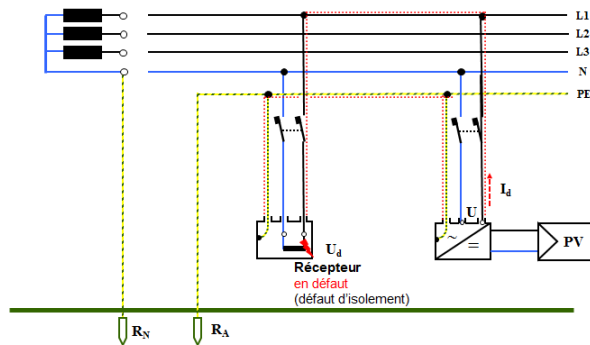
Installations PV

Même si l'on se trouve dans une situation où le réseau ne délivre aucun courant, malgré tout, en cas de défaut d'isolement (entre conducteur de phase et masse), le courant de défaut circulera dans le réseau via les mises à la terre.

Schéma TT: Faute d'isolement entre phase et masse



CEI 60364-8-2 Installation PV fonctionnant en îlotage



R_N : Résistance de dispersion de la prise de terre de l'alimentation I_d : courant de défaut
 R_A : Résistance de dispersion de la prise de terre des masses U_d : tension de défaut

VOLTA
 INSTITUT VAN ELKTRONISCHER
 CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Installations PV

Dans le cas d'une installation fonctionnant en îlotage, une liaison à la terre sera également toujours nécessaire.

Voici un extrait de la norme internationale IEC 60364-8-2 :

Autonomous mode (p. 13) : installation en îlotage, voir par exemple fig. 4 p. 14 P. 23-24 :

In the autonomous mode, the SEI operates without electrical connection to the low-voltage public network. The selected system earthing of the SEI may be different from the one of the low voltage public network but shall be erected according to the principles required by IEC 60364-1. Requirements of IEC 60364-4-41 shall continue to apply. -24- 64/1886A/NP

To implement a TT or a TN system, a live conductor of the power sources (here the local energy power sources and the storage units) shall be directly connected to an earth electrode. This earth electrode may be the same as the one connected to the exposed-conductive-parts or a separate earth electrode. Requirements of IEC 60364-5-54 shall apply with the following additional requirements

a) TT system: Local earth electrode is necessary for connecting the current-using equipment and live conductor may be connected to the same earth electrode but using requirements available for TT system (see clause 411.5 = IEC 60364-4-41.5).

Schéma TT : Ce qu'il faut retenir!

- La tension de contact en cas de défaut peut être dangereuse → Le défaut doit être supprimé très rapidement. Il faut se référer à la courbe de sécurité $t = f(U_d)$
- Le courant de défaut est trop faible pour faire déclencher le dispositif contre les surintensité dans le temps requis → Un DDR est obligatoire
- La qualité des mises à la terre est essentielle.
Il faut veiller à ce que $R_A \leq U_L / I_{\Delta n}$

Schéma TN

VOLTA
INSTITUT VAN ELIA-PROTECHNIEK
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Schéma TN

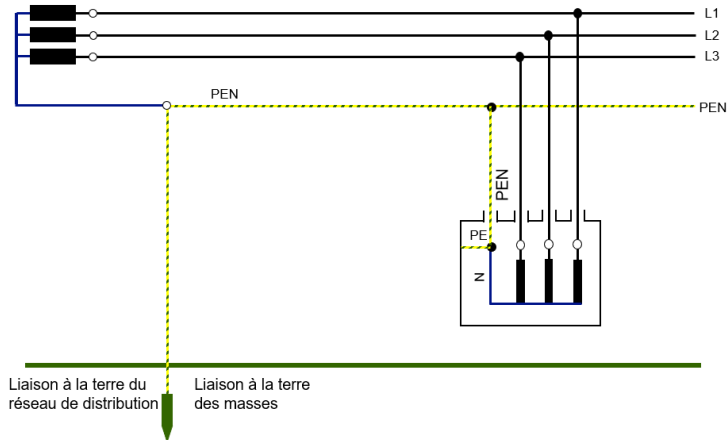
- Réseau de distribution:
Le point neutre de la source BT ou un point des conducteurs actifs est **directement relié à la terre**
- Masses de l'installation électrique:
Toutes les masses de l'installation sont reliées **au neutre et donc à la terre de la source** par l'intermédiaire du conducteur de protection PE ou PEN

Schéma TN

Le schéma TN comporte 3 sous-schémas qui se différencient en fonction de la mise en œuvre du conducteur neutre et du conducteur de protection

- TN-C
- TN-S
- TN-C-S

Schéma TN-C



VOLTA
UNIVERSITÉ D'ART ET D'ARCHITECTURE
CARRÉFOUR DE L'ÉLECTROTECHNIQUE

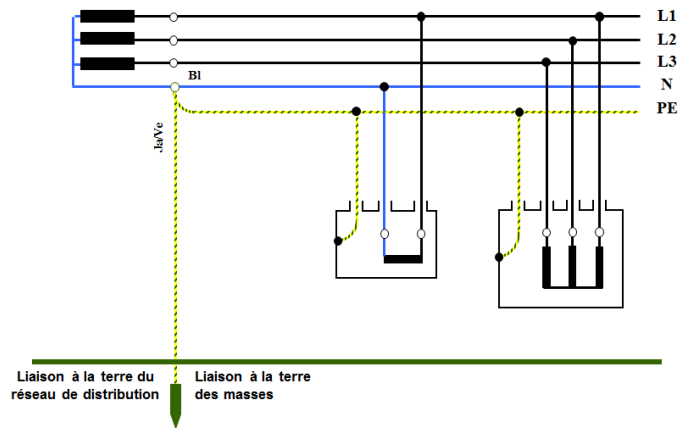
TN-C

Les conducteurs neutre et de protection sont confondus on parle alors d'un conducteur PEN

- En pratique, on rencontre que très rarement un pure schéma TN-C!
- Si le point neutre n'est ni disponible ni accessible

- on mettra un conducteur de phase à la terre dans le poste du transformateur
- dans ce cas le conducteur de phase correspondant et le conducteur de protection doivent être distincts (TN-S)
- Si un schéma TN-C n'est pas admis: il faudra que le PE et le conducteur neutre soient séparés

Schéma TN-S

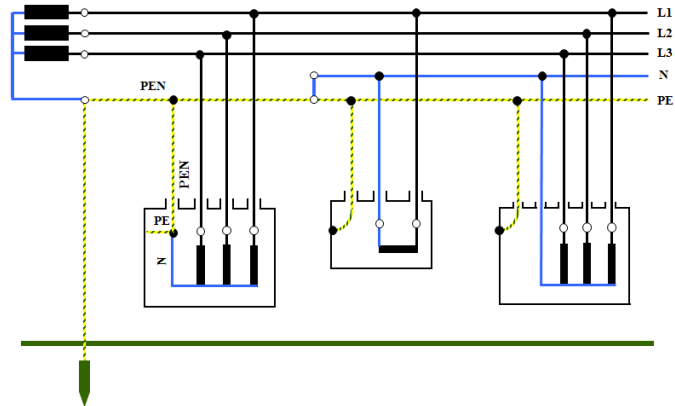


VOLTA
UNIVERSITÉ D'ART ET D'ARCHITECTURE
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

TN-S

Le conducteur de protection (PE) et le conducteur neutre (N) sont 2 conducteurs distincts

Schéma TN-C-S

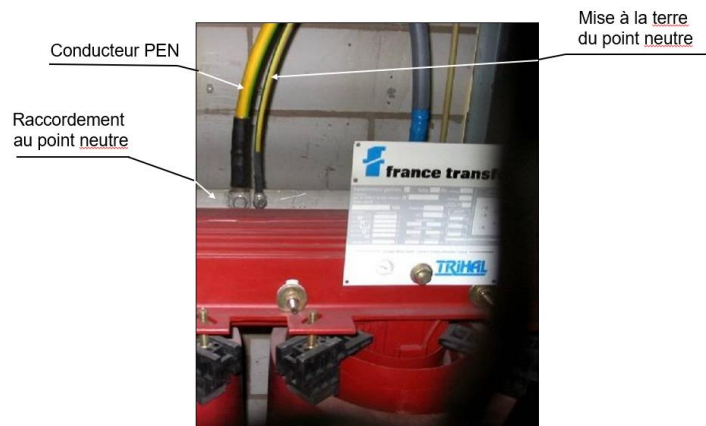


VOLTA
INSTITUT VAN ELEKTROTECHNIEK
 CARTEFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

TN-C-S

Un conducteur (PEN) qui a à la fois le rôle de PE et de neutre en début d'installation ensuite en aval de celle-ci, on sépare le PE et le neutre N en 2 conducteurs indépendants, pour le reste de l'installation

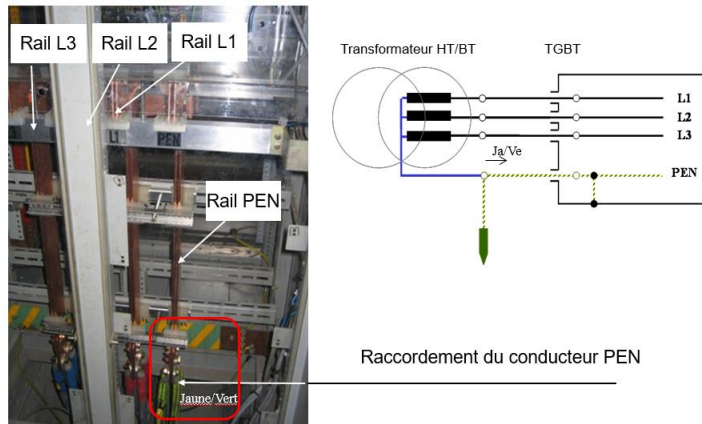
Liaison du point neutre du transformateur HT/BT avec la terre



VOLTA
UNIVERSITÉ D'ARTS ET MÉTIERS
 CARREFOUR DE L'ÉLECTROTECHNIQUE

Nous voyons ici que la section du conducteur PEN est plus grande que celle du conducteur de terre du point neutre. En cas de défaut d'isolement, le conducteur de terre du point neutre va devoir véhiculer peu de courant (voir plus loin) et ne devra donc pas avoir une section importante.

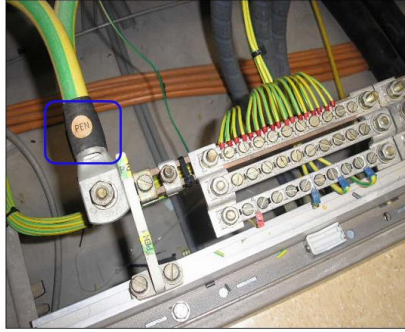
Raccordement du conducteur PEN au rail PEN dans le TGBT (tableau général basse tension)



VOLTA
 INSTITUT VAN ELKARTOENOMER
 CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

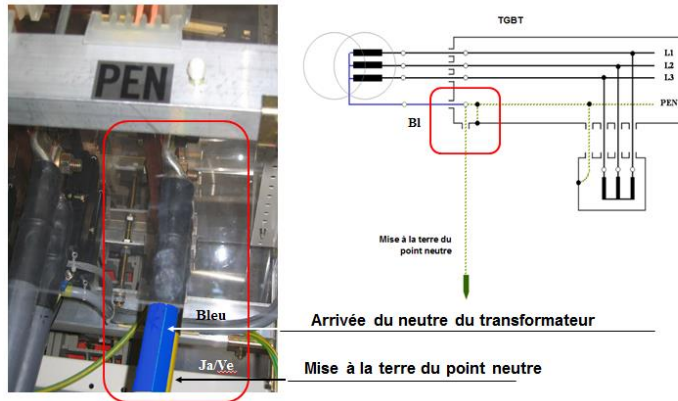
Voici une photo illustrant la réalisation des raccordements du conducteur PEN et du conducteur de terre.

Conducteur PEN



VOLTA
INSTITUT VAN ELEKTROTECHNIEK
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

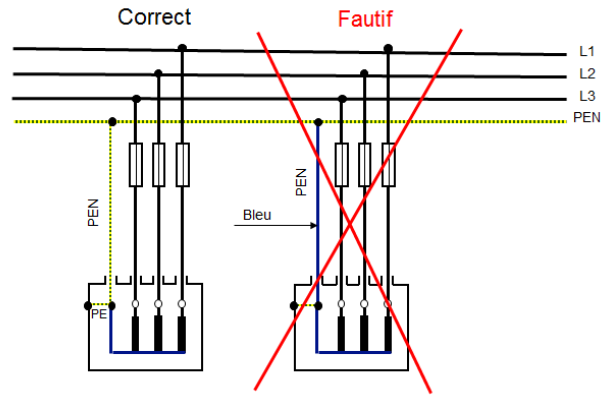
Raccordement du conducteur neutre au rail PEN



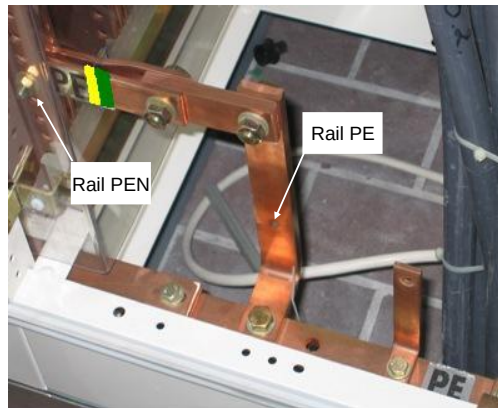
VOLTA
 INSTITUT VAN ELKTRONIEK
 CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Voici une photo illustrant la réalisation correcte du raccordement du conducteur neutre du transformateur, la mise à la terre du point neutre (conducteur Ja/Ve) et du conducteur PEN distribué.

Câblage du conducteur PEN

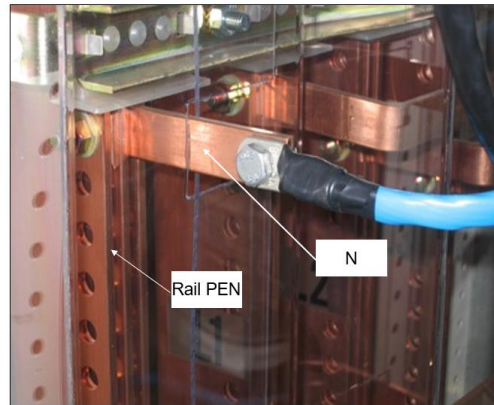


Du PEN vers PE

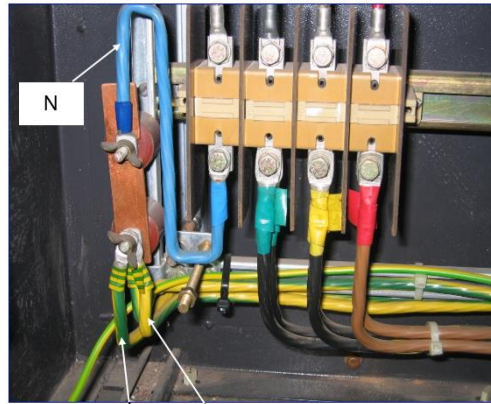


VOLTA
INSTITUT VAN ELEKTROTECHNIEK
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Distribution du conducteur neutre à partir du PEN

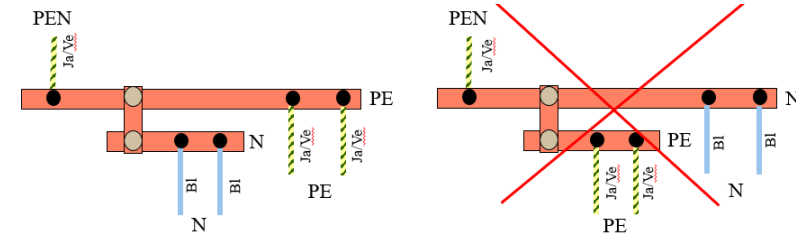


Distribution du conducteur neutre à partir du PEN



Division du PEN en PE et Neutre - Schéma TN-C-S

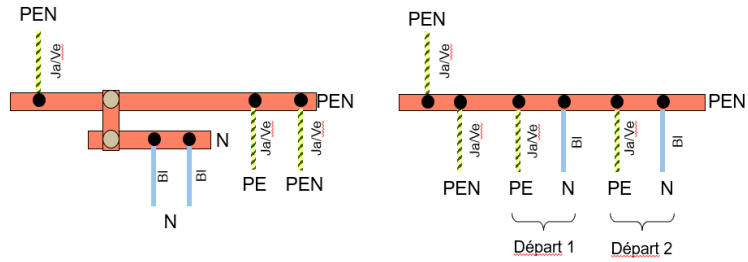
- Lorsque le conducteur PEN est divisé en un PE et un conducteur neutre il faut maintenir une liaison directe entre le conducteur PEN et le conducteur PE. Le conducteur neutre est dérivé du conducteur PEN.
- Lors du découplage du neutre (pour réaliser une mesure par exemple) le conducteur PE et les masses qui y sont reliées restent ainsi bien raccordées à la terre.



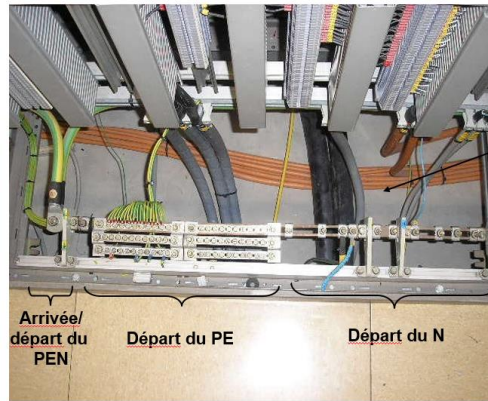
VOLTA
UNIVERSITÉ VAN ELST-PROTECTOR
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Si, à partir d'un point du réseau, le conducteur PEN est dédoublé selon ses deux fonctions de conducteur neutre et de conducteur de protection, il est interdit de relier entre eux ce conducteur de protection et ce conducteur neutre en aval de ce point

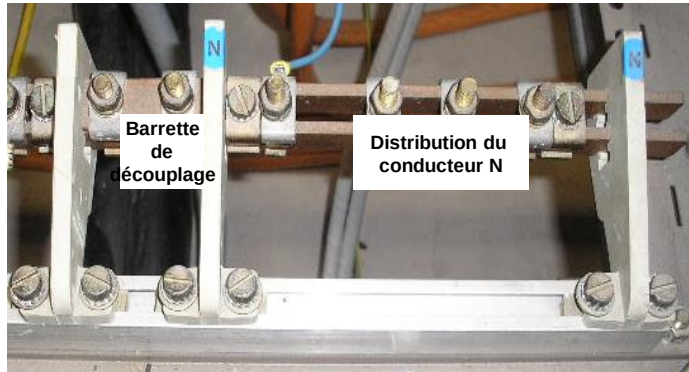
Division du PEN en PE et Neutre - Schéma TN-C-S



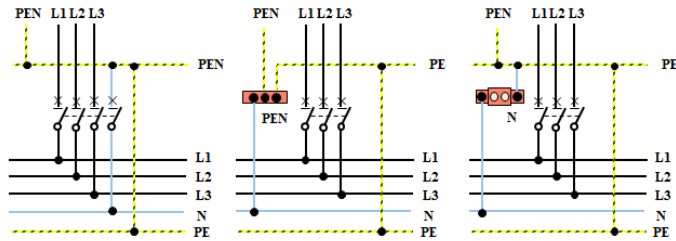
Division du PEN en PE et Neutre - Schéma TN-C-S



Détail du système de découplage



Division du PEN en PE et Neutre - Schéma TN-C-S

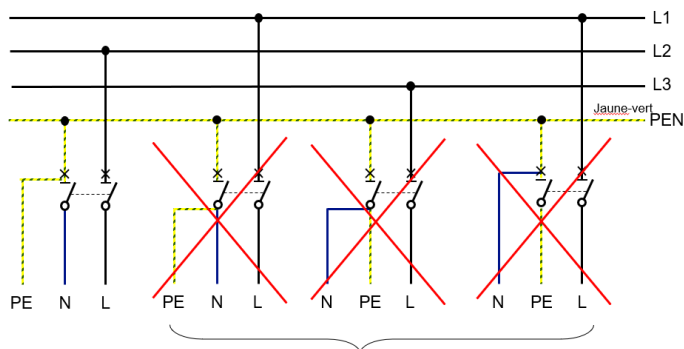


Liaison avec le PEN
via un disjoncteur

Liaison avec le PEN
via un bornier

Liaison avec le PEN via
une barrette sectionnable

Dédoublage du PEN en PE et Neutre au niveau d'un appareil de coupure



Interdit puisque ces configurations implique
une rupture du conducteur PE ou PEN

Division du PEN en PE et Neutre au niveau d'un bornier

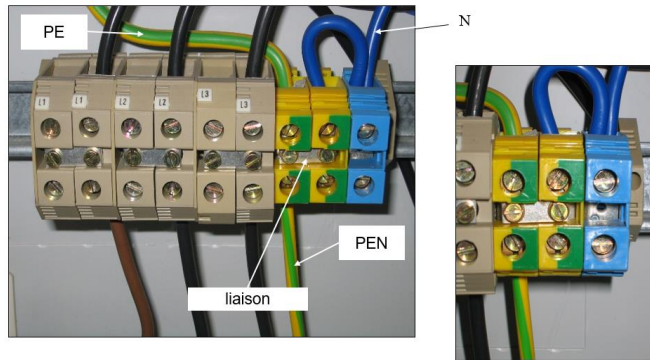
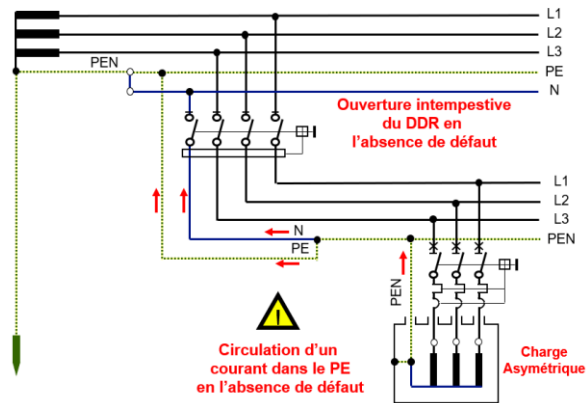


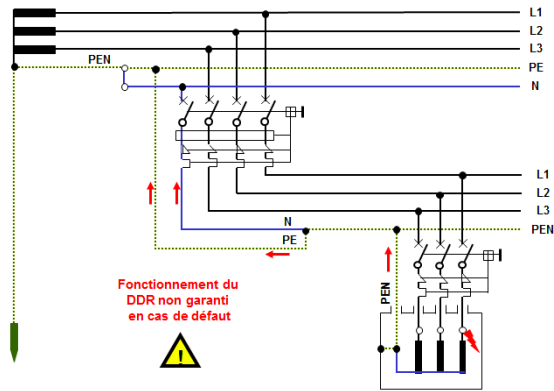
Schéma TN-C toujours en amont d'un schéma TN-S



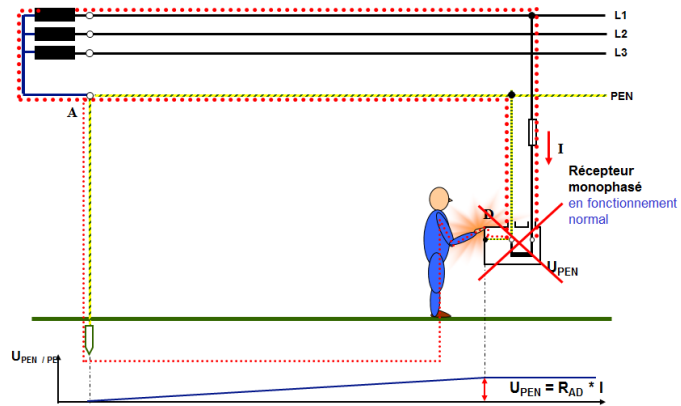
VOLTA
UNIVERSITÉ VAN ELSTROTECHNIEK
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Après la scission en TN-S, on ne peut plus revenir en TN-C. Techniquement, cela ne devrait causer aucun problème si l'on n'utilise pas d'interrupteur différentiel dans la partie TN-S, mais le RGIE l'interdit.

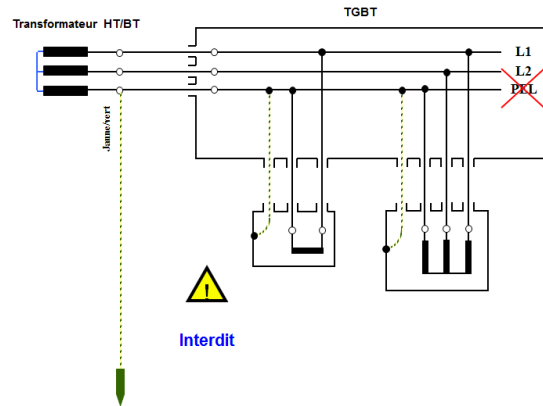
Schéma TN-C toujours en amont d'un schéma TN-S



Récepteur monophasé en TN-C



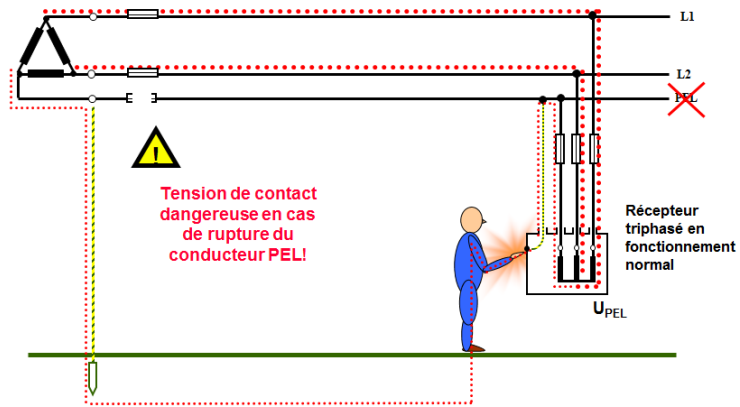
Configuration interdite en schéma TN



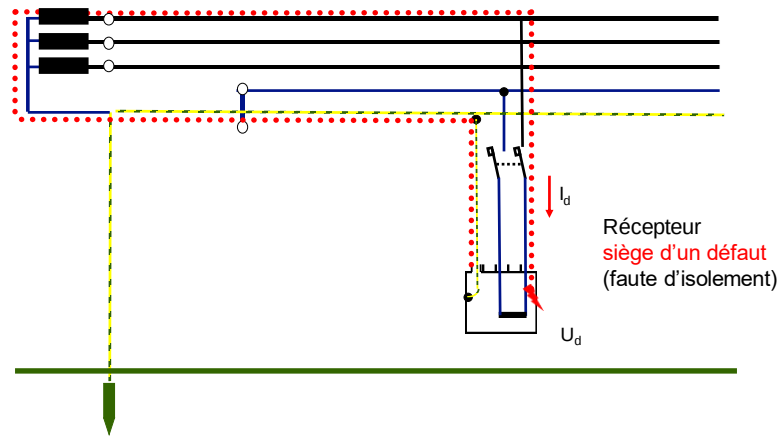
VOLTA
UNIVERSITÉ D'ART ET D'ARCHITECTURE
CARREFOUR DE L'ÉLECTROTECHNIQUE

Il est interdit de combiner en un seul conducteur la fonction de conducteur de phase et de conducteur de protection que l'on pourrait appeler un conducteur PEL

Conducteur PEL : Situation dangereuse



Faute d'isolement en schéma TN-C-S



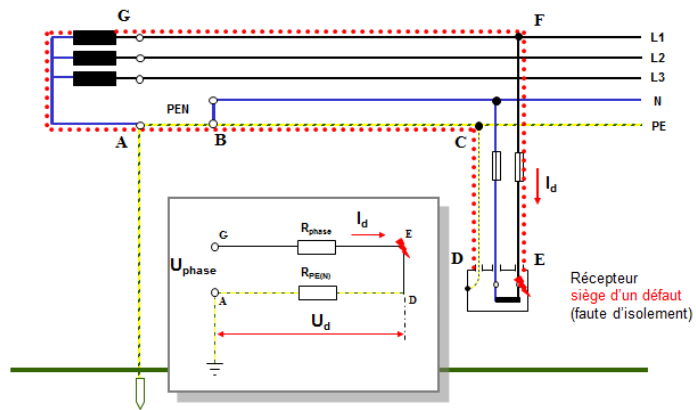
VOLTA
UNIVERSITÉ EN ÉLECTROTECHNIQUE
CARREFOUR DE L'ÉLECTROTECHNIQUE

Faute d'isolement entre conducteur de phase et une masse

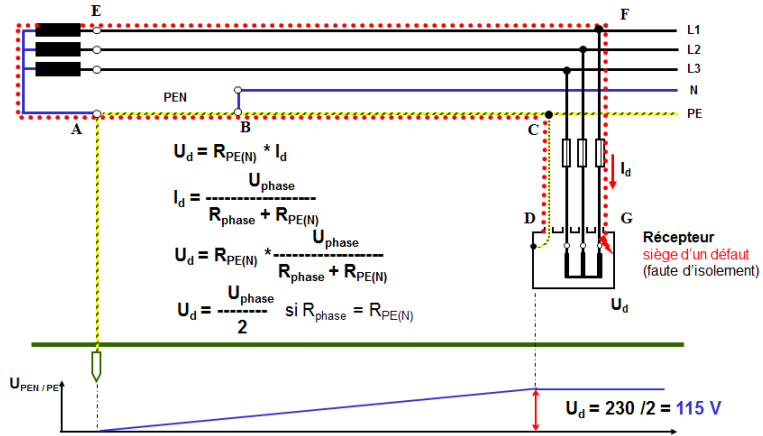
- La boucle de défaut est constituée d'éléments très conducteurs (conducteur de phase et conducteur PEN ou PE)
- Faible résistance (impédance)
- Courant de défaut relativement important, comparable à un court-circuit

Nous voyons ici le cheminement emprunté par le courant de défaut (trajet représenté en rouge) en cas de défaut d'isolement (phase à la masse). Le courant va être élevé car il n'est limité que par la résistance des conducteurs. Une tension de défaut va apparaître au niveau de la masse de l'appareil.

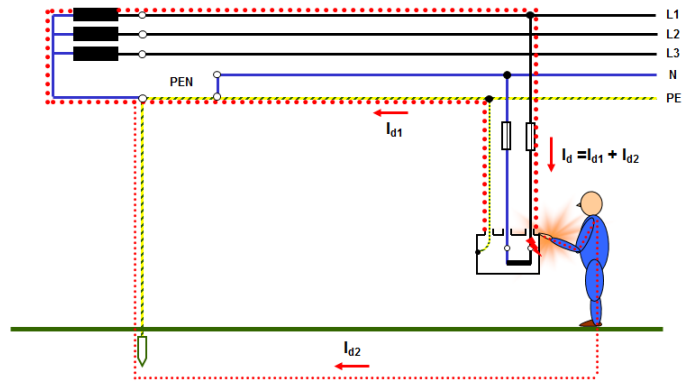
Faute d'isolement en schéma TN-C-S



Elévation du potentiel au niveau des masse



Faute d'isolement en schéma TN-C-S



VOLTA
UNIVERSITÉ VAN ELSTROTECHNIEK
 CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Si quelqu'un touche la masse sur laquelle la tension de défaut est présente, il y aura un courant de choc qui traversera le corps humain pour ensuite s'écouler à la terre.

Calcul du courant de défaut

L'intensité du courant de défaut est fonction de:

- La tension entre phase et la terre (*)
- L'impédance de la boucle de défaut totale depuis la source jusqu'au point où le défaut d'isolement est apparu.

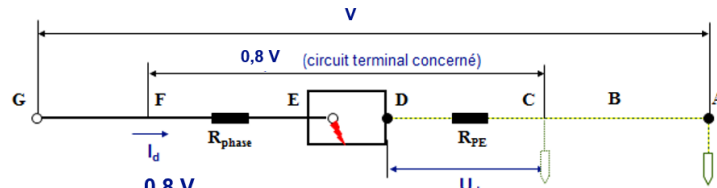
$$I_d = \frac{V}{Z_{total}}$$

La détermination de l'impédance de la boucle de défaut est très complexe puisqu'il faut tenir compte d'un ensemble d'éléments.

En pratique, on utilisera une méthode de calcul simplifiée.

(*) en cas de défaut d'isolement entre phase et masse

Méthode de calcul simplifiée



$$I_d = \frac{0,8 \text{ V}}{R_{phase} + R_{PE}}$$

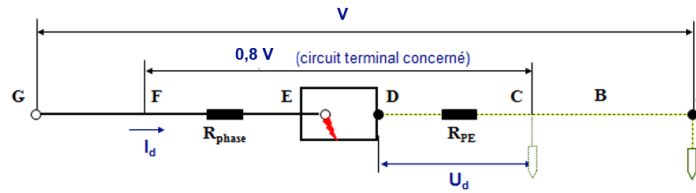
$$U_d = I_d * R_{PE}$$

$$0,8 = \frac{Z_{\text{circuit terminal}}}{Z_{\text{réseau}} + Z_{\text{circuit terminal}}}$$

$$R_{phase} = \frac{\rho * L}{S_{phase}}$$

$$R_{PE} = \frac{\rho * L}{S_{PE}}$$

Méthode de calcul simplifiée



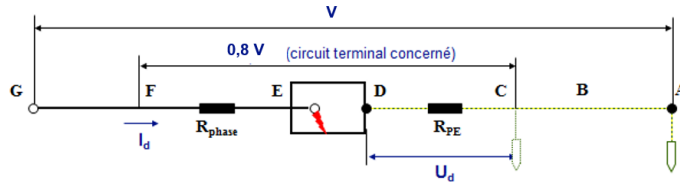
$$I_d = \frac{0,8 V}{R_{phase} + R_{PE}}$$

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

$$I_d = \frac{0,8 V}{\rho * L \left(\frac{1}{S_{phase}} + \frac{1}{S_{PE}} \right)}$$

$$I_d = \frac{0,8 V * S_{phase}}{\rho * L (1 + m)}$$

Méthode de calcul simplifiée



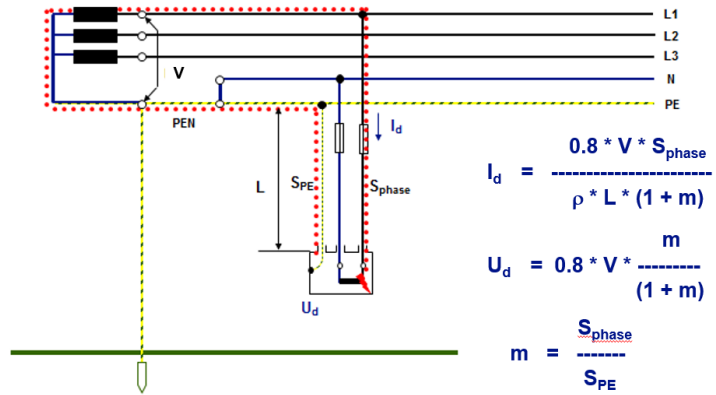
$$U_d = I_d * R_{PE}$$

$$U_d = \frac{0.8 * V * S_{phase}}{\rho * L * (1 + m)} * \frac{\rho * L}{S_{PE}}$$

$$U_d = 0.8 * V * \frac{m}{(1 + m)}$$

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

Méthode de calcul simplifiée



Facteur de correction tenant compte de l'influence de la réactance

	Section du conducteur (mm ²)					
	≤ 95	120	150	185	240	300
Augmentation de la valeur de la résistance	0%	10%	15%	20%	25%	30%
Facteur de correction c1	1	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7

$$I_d = \frac{0,8 * V * S_{\text{phase}}}{\rho * L * (1 + m)} * c1$$

$$U_d = 0,8 * V * \frac{m}{(1 + m)} * c1$$

VOLTA
INSTITUT VAN ELEKTROTECHNIEK
CARREEFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Pour les conducteurs dont la section est supérieure à 95 mm², on ne peut plus négliger l'influence de la réactance.

Ci-dessus sont repris les facteurs de correction à appliquer en fonction de la section.

Schéma TN: Règles de protection actives contre les contacts indirects

- Un des dispositifs de protection suivants doit être utilisé:
 - Dispositif de protection contre les surintensités (TN-C, TN-S)
 - DDR (dispositif à courant différentiel résiduel) (TN-S, TN-C)
- **Temps de déclenchement** du dispositif de protection ne peut pas être supérieur au temps maximal défini par la courbe de sécurité, pour la tension de défaut attendue

Pour nous protéger contre les chocs électriques consécutifs à un contact indirect causé par la présence d'une tension de défaut sur les masses, il faut que le dispositif de protection contre les surintensités ou l'interrupteur différentiel déclenche dans le laps de le temps prévu par la courbe de sécurité.

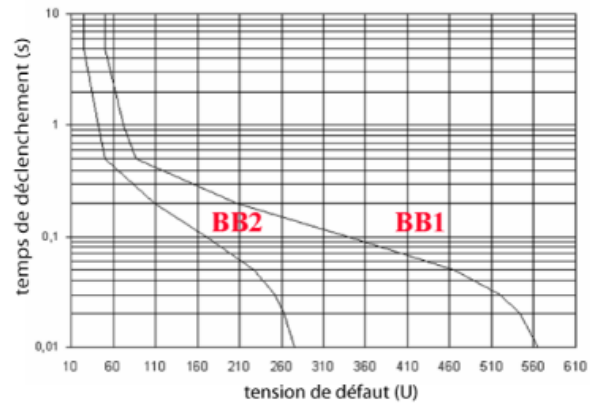
Lorsque le conducteur PE et le conducteur neutre sont un seul et même conducteur (schéma TN-C).

En effet cet appareil ne détecterait pas le défaut, puisque le courant de défaut circule via le neutre dans le conducteur PEN et que l'interrupteur différentiel ne fait aucune différence entre courant de départ et courant de retour.

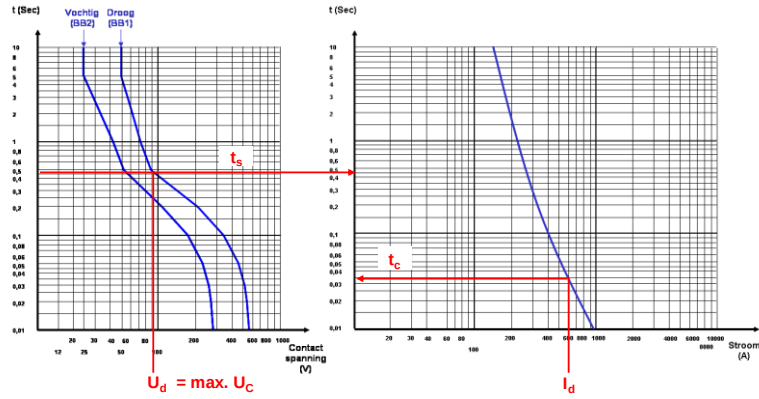
Vérification des temps de déclenchement

- En reportant la tension de défaut calculée U_d sur la **courbe de sécurité** on trouve la valeur t_s correspondante qui indique la durée maximale admissible du défaut.
On considère la tension de contact maximale soit la tension de défaut U_c
- L'intensité du courant de défaut calculée I_d est reportée sur la **courbe de déclenchement** du dispositif de protection. On peut ainsi trouver la valeur t_c correspondant à la durée de déclenchement du dispositif de protection pour cette intensité de défaut.
- La protection est considérée comme garantie si $t_c \leq t_s$

Vérification des temps de déclenchement: Courbes de sécurité



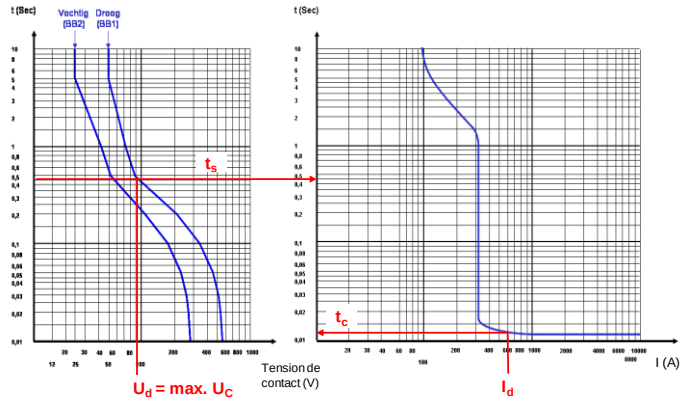
Protection par fusible



Protection contre le contact indirect est garanti ! ($t_c < t_s$)

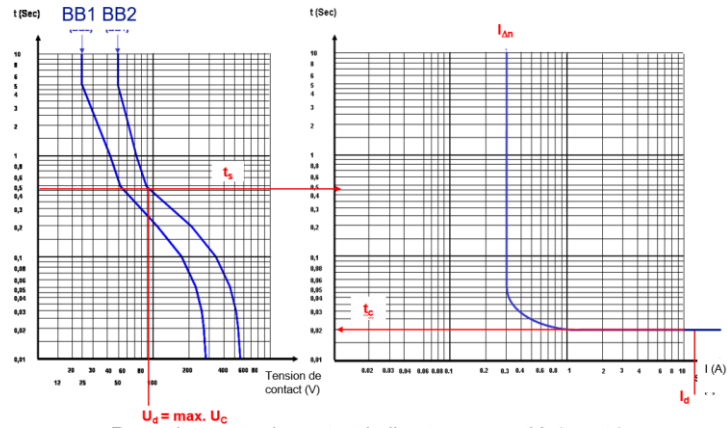
VOLTA
 WILHELM VAN ELECROTECHNIEK
 CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Protection par disjoncteur



Protection contre le contact indirect est garanti ! ($t_c < t_s$)

Protection par DDR (différentiel)



Protection contre le contact indirect est garanti ! ($t_c < t_s$)

VOLTA
UNIVERSITÉ VAN ELSTROTECHNIEK
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Vérification des seuils de déclenchement

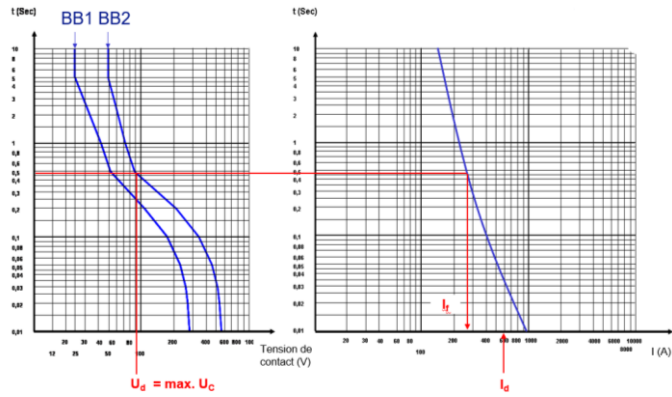
Au lieu de se référer à durée de déclenchement du dispositif de protection, on peut aussi se référer à la valeur de l'intensité de courant qui correspond au seuil de déclenchement du dispositif de protection:

En cas de protection par fusible il faudra vérifier que la relation ci-dessous est bien satisfaite

$$I_f \leq I_d$$

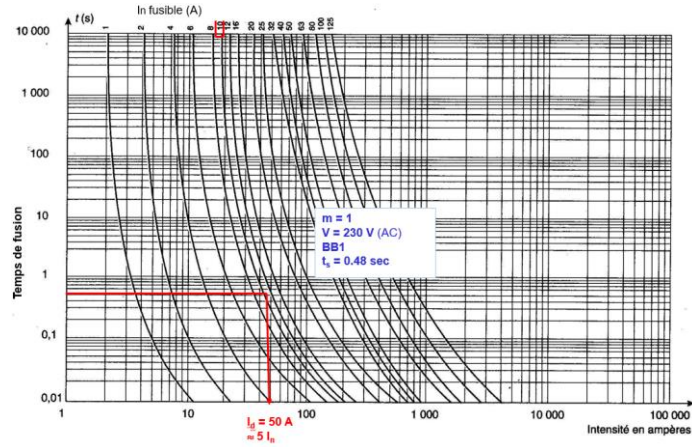
I_f = courant de fusion du fusible correspondant à la durée maximale admissible de la tension de contact suivant la courbe de sécurité

Protection par fusible



Protection contre le contact indirect est garanti ! ($t_f < t_d$)

Courbes de fusion des cartouches type gG



Vérification des seuils de déclenchement

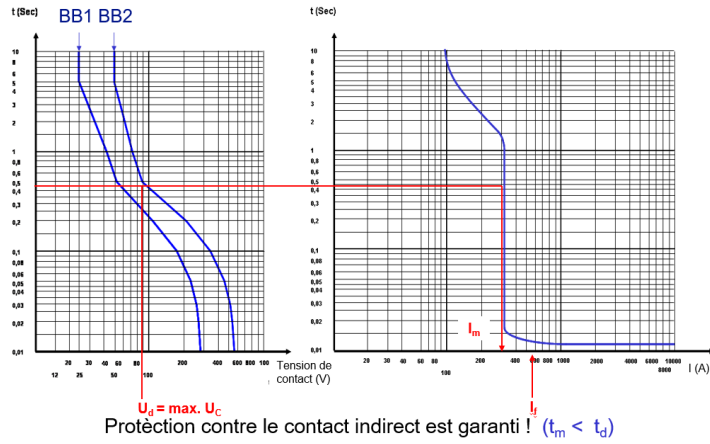
En cas de protection par disjoncteur il faudra vérifier que la relation ci-dessous est bien satisfaite

$$I_m (\text{max.}) \leq I_d$$

I_m = valeur de l'intensité de courant correspondant au seuil de déclenchement magnétique max.

Domaine d'application	Type	Seuil magnétique
Résidentiel (EN60898)	B	3 à 5 x I_n
	C	5 à 10 x I_n
	D	10 à 20 x I_n
Industriel (EN60947.2)	B	3,2 à 4,8 x I_n
	C	7 à 10 x I_n
	D	10 à 14 x I_n
	MA	12 x I_n

Protection par disjoncteur



Longueur des câbles maximale admissible

Afin de garantir la protection contre le contact indirect, il faudra veiller à ne pas dépasser la longueur maximale des câbles : $L \leq L_{\max}$

$$I_d = \frac{0.8 * V * S_{\text{phase}}}{\rho * L * (1 + m)} \quad \text{Si} \quad \begin{cases} I_d = I_m \text{ (seuil magnétique du disjoncteur)} \\ \text{ou} \\ I_d = I_t \text{ (seuil de fusion du fusible)} \end{cases}$$

$$\text{Alors : } L_{\max} = \frac{0.8 * V * S_{\text{phase}}}{\rho * (1 + m) * I_m \text{ (ou } I_t)}$$

Longueur des câbles maximale admissible: Protection par fusible

Tableau A

Conducteur aluminium		Coefficient de correction
Section PE = 1/2 Section Phase (n = 2)		0,625
Régime IT	sans neutre	0,67
	avec neutre	0,86
Temps de coupure de I _a admis. (circuit de distribution)	pour les canalisations protégées avec des fusibles gG	0,5
	pour les canalisations protégées avec des fusibles aM	1,88
		1,53

Tableau B : longueurs maximales (en m) des conducteurs protégés par fusibles gG (calibre en A)

S (mm ²)	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
1,5	53	40	32	22	18	13	11	7	8	4	3									
2,5	88	66	53	36	31	21	18	12	9	7	6	4								
4	141	106	85	58	49	33	29	19	15	11	9	6	6	4						
6	212	159	127	87	73	50	43	28	22	16	14	10	8	6	4					
10	353	265	212	145	122	84	72	48	37	28	23	16	14	10	7	6	4			
16	566	424	330	231	196	134	116	77	59	43	36	25	22	15	12	9	7	5	4	
25	884	663	530	361	306	209	181	120	92	67	57	40	35	24	18	14	11	8	6	4
35		928	742	506	428	293	253	169	129	94	80	56	48	34	26	20	15	11	9	6
50				687	581	398	343	229	176	128	108	76	66	46	35	27	20	15	12	8
70					856	586	506	337	259	189	159	111	97	67	52	39	30	22	17	11
95						795	687	458	351	256	216	151	131	92	70	53	41	29	23	16
120							868	578	444	323	273	191	166	116	89	67	62	37	23	20
150								615	472	343	290	203	178	123	94	71	54	39	31	21
185								714	547	399	336	235	205	145	110	82	64	46	36	24
240									666	485	409	286	249	173	133	100	77	55	44	29
300										566	477	334	290	202	155	117	90	65	51	34

VOLTA
UNIVERSITÉ VAN ELSEN ROTTERDAM
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

La longueur des conducteurs protégés contre les contacts indirects doit être limitée.

Le tableau B donne les longueurs maximales des conducteur en cuivre.

Ces longueurs ont été déterminées dans les conditions suivantes:

- Réseau 230/400 Vac
- Schéma TN
- Tension de contact maximale UL = 50 Vac
- Section du conducteur neutre = section des phases

Pour des conditions autres que celles reprises ci-dessus, il faudra tenir compte des facteurs de correction repris dans le tableau A.

Longueur des câbles maximale admissible: Protection par disjoncteur

Longueurs maximales (en mètres) des canalisations en schéma TN protégées contre les contacts indirects par des disjoncteurs.

P25M

Réseau triphasé en 400 V, câble cuivre, $S_{ph} = S_{PE}$,
 $U_L = 50$ V, en schéma TN.

DT40, IC60N/L, C120N/H

Corbe B
Réseau triphasé en 400 V, câble cuivre, $S_{ph} = S_{PE}$,
 $U_L = 50$ V, en schéma TN.

Facteurs de correction à appliquer aux longueurs données par les tableaux

.. Sphase	1	2	3	4
Sph				
réseaux 400 V (1)				
câble cuivre	1	0,67	0,50	0,40
câble alu	0,62	0,42	0,31	0,25

(1) Pour les réseaux 230 V entre phases, appliquer, en plus, le coefficient 0,57.

Pour les réseaux 230 V monophasés (entre phase et neutre), ne pas appliquer ce coefficient supplémentaire

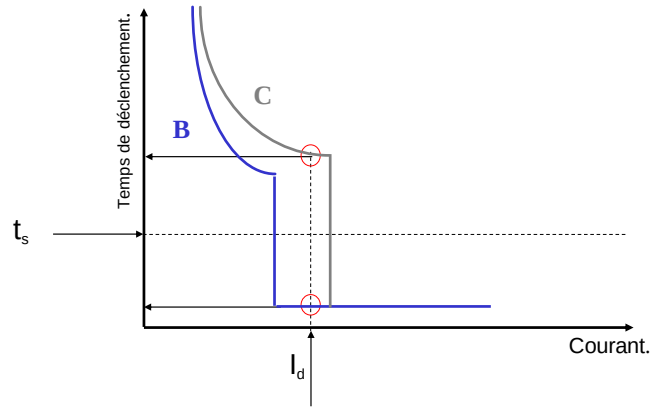
Sphases	calibre (A)											
mm²	0,16	0,24	0,4	0,6	1	1,6	2,4	4	6	10	16	25
1,5					694	416	260	173	104	69	41	26
2,5					694	434	289	173	115	69	43	27
4					694	462	277	185	111	69	55	44
6						694	414	277	167	104	83	66

Sphases	calibre (A)											
mm²	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100		
1,5	120	75	60	48	38	30	24	19	15	12		
2,5	200	125	100	80	63	50	40	32	25	20		
4	320	200	160	128	100	80	64	51	40	32		
6	480	300	240	192	150	120	96	76	60	48		
10	800	500	400	320	250	200	160	127	100	80		
16		800	640	512	400	320	256	203	160	128		
25				800	625	500	400	317	250	200		
35					875	700	560	444	350	280		
47,5							760	603	475	380		

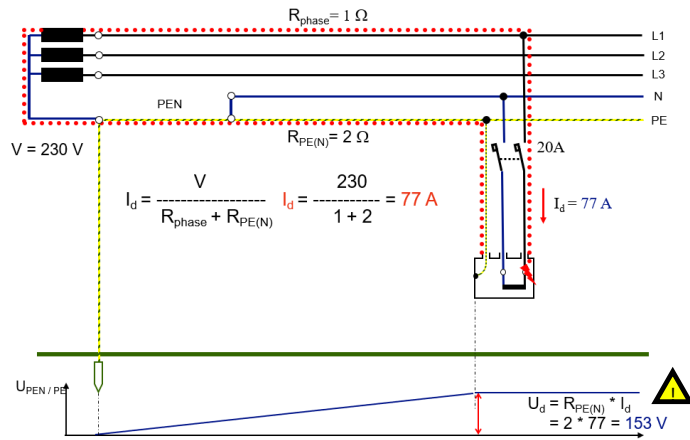
Solutions possibles si $L > L_{\max}$

- Modification des caractéristiques du dispositif de protection
Courbe de déclenchement avec d'autres caractéristiques (réaction plus rapide → augmentation de la sensibilité)
- Augmentation de la section des conducteurs (S_{phase} et S_{PE})
- Placement d'un DDR (en TN-S)

Protection par disjoncteur: adaptation de la courbe de déclenchement



Faute d'isolement en schéma TN



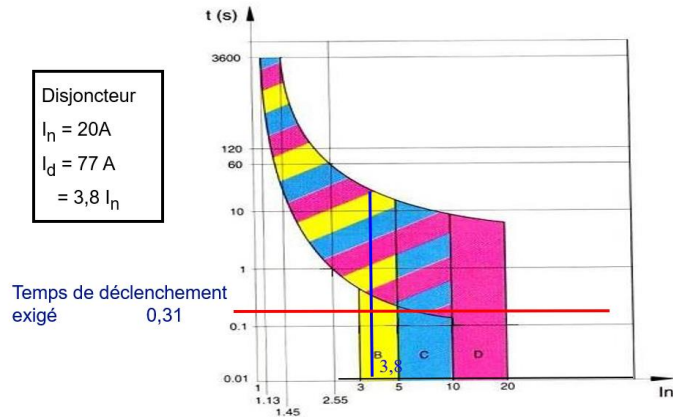
VOLTA
UNIVERSITÉ EN ÉLECTROTECHNIQUE
CARREFOUR DE L'ÉLECTROTECHNIQUE

Prenons quelques exemples basés sur des calculs.

Premier exemple chiffré : section PE = la moitié de la section des conducteurs de phase.

Dans cet exemple, nous voyons que le disjoncteur ne va pas réagir rapidement : voir plus loin.

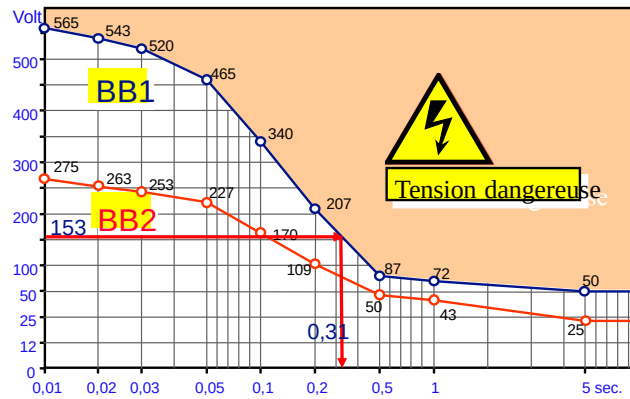
Courbes de déclenchement d'un disjoncteur



VOLTA
 INDUSTRIE SANI ELETTRONICOM
 CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Le courant de défaut s'élève à 77 A, soit $3,8 \times I_n$. Sur la courbe de déclenchement, nous voyons qu'une surintensité de $3,8 \times I_n$ ne va nullement faire déclencher le disjoncteur dans le délai requis de 0,31 s !

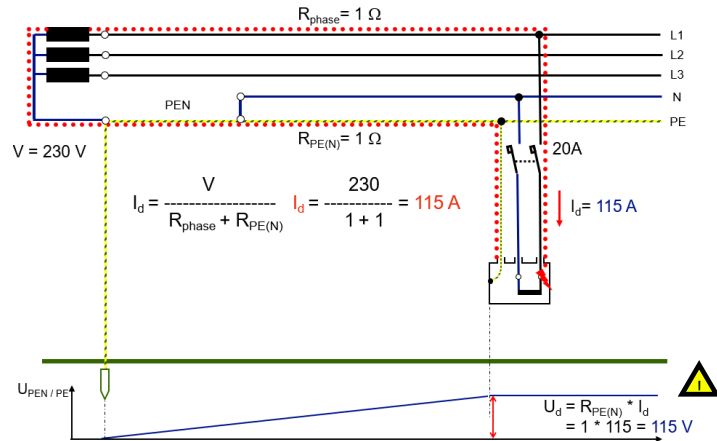
Courbe de sécurité



VOLTA
UNIVERSITÉ VAN ELSTROTECHNIEK
 CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Le contact avec une tension de 153 V ne peut être maintenu plus de 0,31 sec en situation BB1. Au delà de ce laps de temps, la situation est dangereuse!

Faute d'isolement en schéma TN



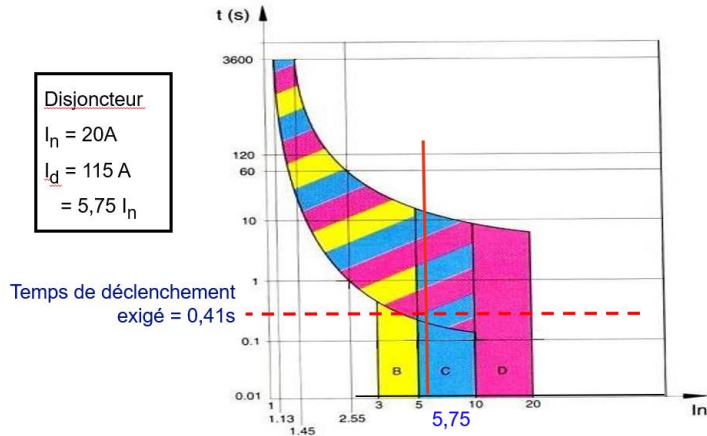
VOLTA
INSTITUT VAN ELEKTROTECHNIEK
CENTRUM DE ELEKTROTECHNIEK

Prenons maintenant un deuxième exemple chiffré, dans lequel la section du conducteur PE est identique à celle des conducteurs de phase.

La tension de défaut apparue est désormais égale à 115 V.

Nous allons voir qu'un disjoncteur de type B pourrait suffir.

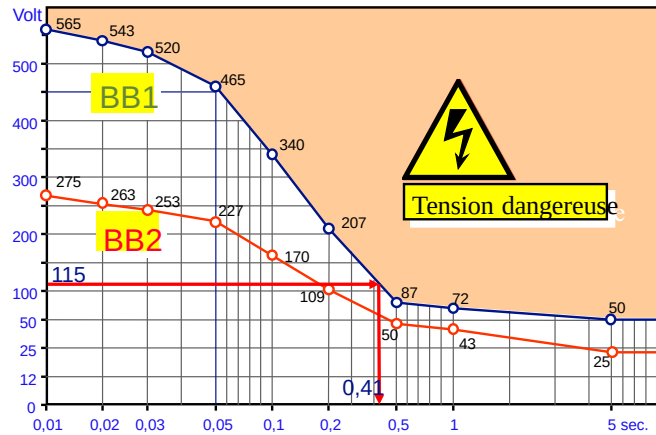
Courbes de déclenchement d'un disjoncteur



VOLTA
 INSTITUT VAN ELEKTROTECHNIEK
 CARTEFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Le courant de défaut s'élève à 115 A, soit $5,75 \times I_n$. Sur la courbe de déclenchement, nous constatons que, pour un disjoncteur de type B, une surintensité de $5,75 \times I_n$ va faire déclencher le disjoncteur dans le délai requis de 0,41 s !

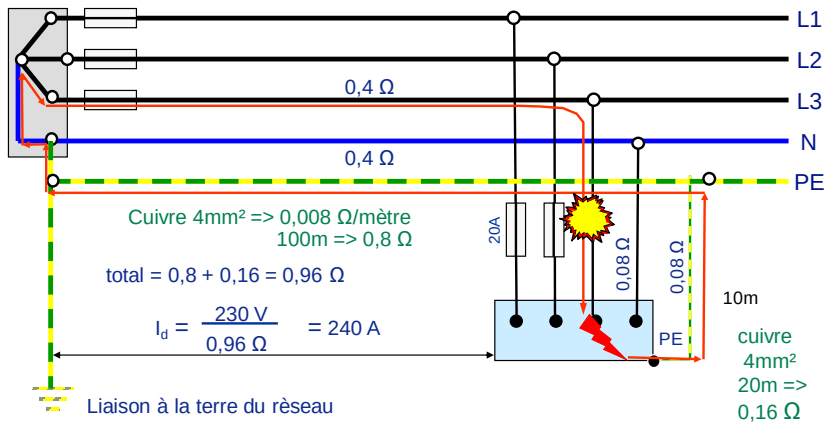
Courbe de sécurité



VOLTA
UNIVERSITÉ VAN ELST-PROTECTOR
 CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Le contact avec une tension de 153 V ne peut être maintenu plus de 0,41 sec en situation BB1. Au delà de ce laps de temps, la situation est dangereuse!

Schéma TN sans rallonge



VOLTA
INSTITUT VAN ELKARTOCHNIEK
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Schéma TN avec rallonge

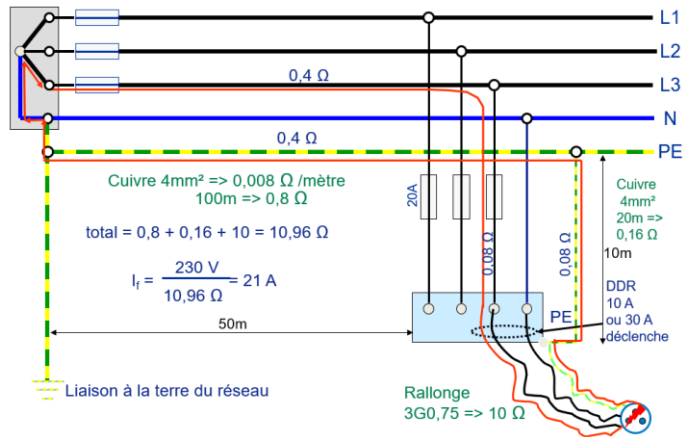


Schéma TN et rallonge



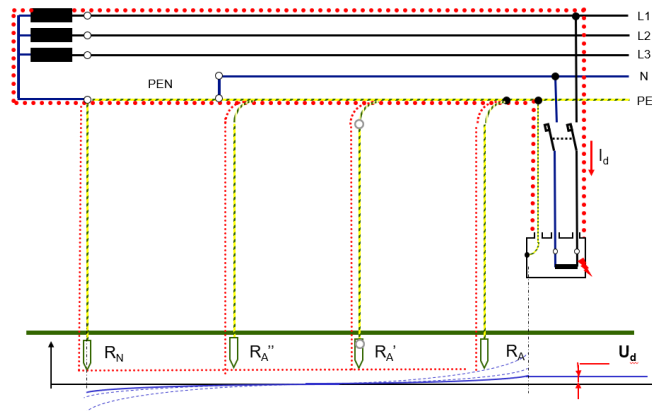
Si on utilise une rallonge en schéma TN, celle-ci doit être équipée d'une protection différentielle (DDR)!!

Schéma TN: Multiplication des mises à la terre du conducteur PE(N)

- Circulation d'un courant dans le conducteur PEN ou PE
→ quand les masses sont portées à un potentiel électrique par rapport à la terre
- Limiter les élévations de potentiel par rapport à la terre:
Multiplier autant que possible les raccordements du conducteur PEN ou PE à la terre
Au plus on réalise de liaison avec la terre au plus on peut limiter une éventuelle augmentation du potentiel des masses par rapport à la terre.

L'avantage d'une multiplication des mises à la terre du conducteur PE (réparties dans la mesure du possible, sur l'ensemble de l'installation) est par ailleurs une obligation légale puisqu'il faut maintenir le potentiel du conducteur de protection en cas de défaut aussi proche de celui de la terre.

Schéma TN: Multiplication des mises à la terre du conducteur PE(N)



VOLTA
UNIVERSITÉ D'ARTS ET DE TECHNOLOGIE
CARRÉFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Exemple de trajet suivi par le courant de défaut en cas de multiplicité de mises à la terre. Plus on établit de liaisons avec la terre, plus l'élévation de potentiel sur les masses par rapport à la terre est faible.

Schéma TN: une phase en contact avec la terre

Conducteur de phase en contact direct avec la terre ou une partie conductrice étrangère

- Boucle de défaut via la liaison à la terre de la source de courant
- Conducteur PEN/PE ainsi que toutes les masses qui y sont raccordées, sont portés à un potentiel électrique par rapport à la terre

VOLTA
UNIVERSITÉ VAN ELSEN-PROTECTOR
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Le contact de la phase avec la terre provoque l'apparition d'une boucle de défaut portant le PE et toutes les masses qui sont raccordées à un certain potentiel.

Boucle de défaut : source (transfo) – conducteur de phase – défaut – terre – mise à la terre entreprise – retour à la source.

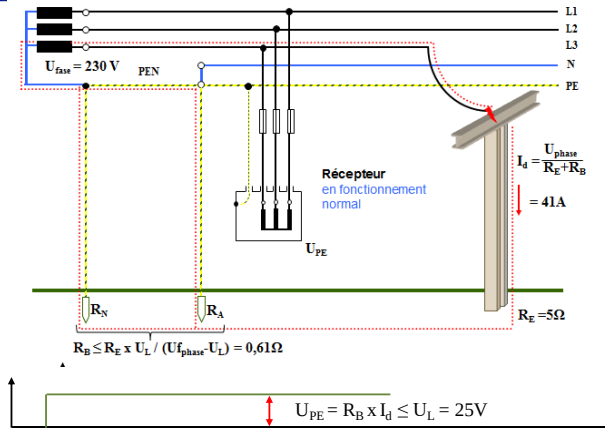
Ce courant de défaut s'élève à $I_f = U_0 / (R_E + R_B)$ avec R_B étant la résistance de terre globale de l'entreprise.

La tension de défaut apparaissant en R_B va donc être $I_f \times R_B$, ou $U_0 / (R_E + R_B) \times R_B$.

Cette valeur doit demeurer inférieure à U_L , (50 V en conditions BB1 ou 25 V en conditions BB2).

Il en résulte la valeur maximum de R_B .

Schéma TN: Une phase en contact avec la terre



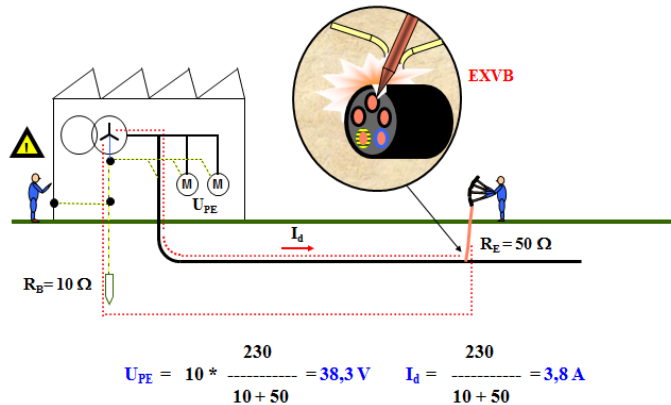
VOLTA
UNIVERSITÉ VAN ELSTROTECHNIE
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Cas particulier :

Une phase peut être en contact direct avec la terre, comme par exemple dans le cas d'un pylône en situation de défaut. Il sera en contact avec la terre mais non relié à la liaison à la terre de l'installation. Exemple : dans les cas des lignes aériennes installées hors de l'entreprise et que les pylônes ne sont donc pas raccordés à la liaison à la terre de l'entreprise.

Donc si une phase est en contact direct avec la terre ou une pièce conductrice étrangère, il y a établissement d'une boucle de défaut et un courant de défaut circule via la liaison à la terre de la source. La circulation de ce courant de défaut va provoquer une élévation du potentiel du conducteur PEN/PE et toutes les masses qui y sont raccordées, par rapport à la terre.

Schéma TN: une phase en contact avec la terre: contact avec un câble non armé



VOLTA
UNIVERSITÉ EN ÉLECTROTECHNIQUE
CARREFOUR DE L'ÉLECTROTECHNIQUE

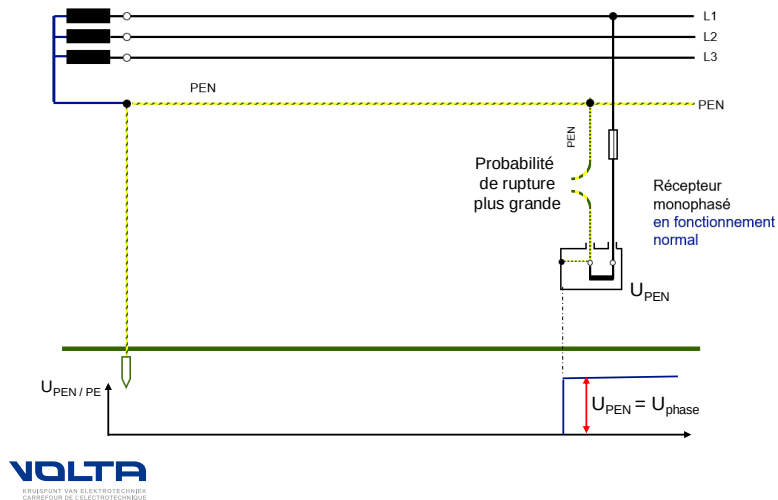
Situation similaire à celle de la diapositive précédente.

Ici c'est un câble souterrain qui est accidentelleemnt mis en contact avec la terre. Néanmoins, il n'y a pas de liaison avec la terre de l'installation.

Toutes les masses dans l'entreprise sont portées à une tension U_{PE} par rapport à la terre.

Aucun problème pour les personnes présentes dans les bâtiments (à condition que les liaisons équipotentiellees soient correctes), mais bien pour une personne se trouvant à l'extérieur en raison de la tension de pas.

Rupture du conducteur PEN (TN-C)



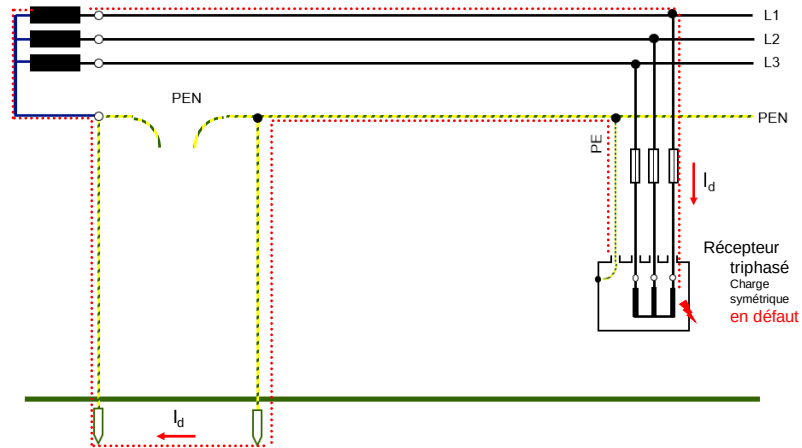
Situation : une seule mise à la terre, alimentation en TN-C vers un récepteur monophasé et rupture du conducteur PEN.

Comme la section du conducteur PEN raccordé au récepteur est plus faible que celle du PEN du réseau de distribution, le risque de rupture est supérieur à celui d'un réseau TN-C-S (voir diapositive suivante).

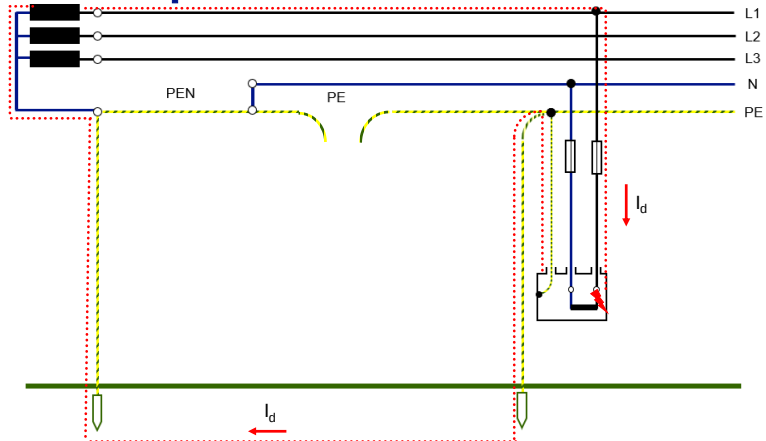
En cas de rupture : les masses des récepteurs monophasés sont portées à la tension de phase.

→ En TN-C, il est déconseillé (et même interdit en vertu d'une note des pouvoirs publics adressée aux organismes agréés) de raccorder des récepteurs monophasés.

Quid du schéma TN-C en cas de rupture du PEN



Transformation du schéma TN-C-S en schéma TT en cas de rupture du conducteur PEN



VOLTA
UNIVERSITÉ VAN ELSTROTECHNIEK
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

TN-C-S avec plusieurs mises à la terre : à comparer avec TT.
Ici, la protection avec un interrupteur différentiel est possible.

Rupture du conducteur PEN

Dans le cas d'une rupture du conducteur PEN et en présence d'un **récepteur monophasé**, toutes les masses qui sont raccordées en aval du point de rupture se retrouvent à un potentiel électrique qui peut évoluer jusqu'à la valeur de la tension de phase.

C'est pour cette raison qu'il est déconseillé de raccorder un récepteur monophasé via un conducteur PEN

(interdit par la note 44 aux organismes de contrôle)

« qui peut évoluer jusqu'à » : s'il n'y a qu'un seul point mis à la terre.

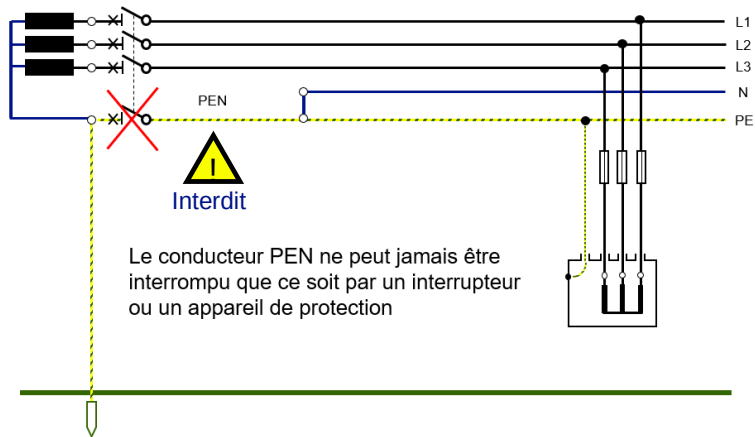
Limitation du risque de rupture du conducteur PEN

Réduire au minimum la probabilité de rupture du conducteur PEN (conducteur actif) grâce aux précautions suivantes:

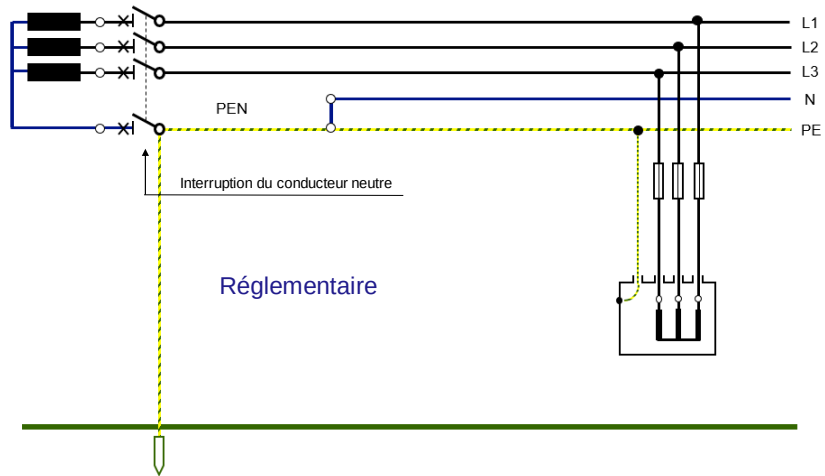
- Section minimale du conducteur PEN: 10mm² Cu ou 16mm² Al
- Limiter le schéma TN-C aux installations (triphasées) fixes
Pas d'appareillage portable ou transportable
- Ne pas utiliser des conducteurs souples
- Le conducteur PEN fera partie de préférence, de la même canalisation électrique
Exemples : XVB 3*25 + 25, XFVB 3*25 + 25, ...
- Ne pas utiliser une partie conductrice (étrangère) ou une masse pour assurer la continuité du conducteur PEN
- Le montage du conducteur PEN (rails) demande une attention particulière (veiller à la qualité des raccordements)

Voici les obligations légales à respecter pour réduire à un minimum le risque de rupture du conducteur PEN.

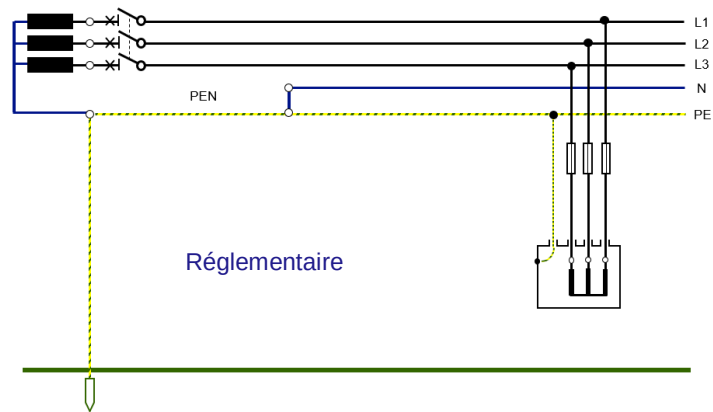
Interdiction d'interrompre le conducteur PEN



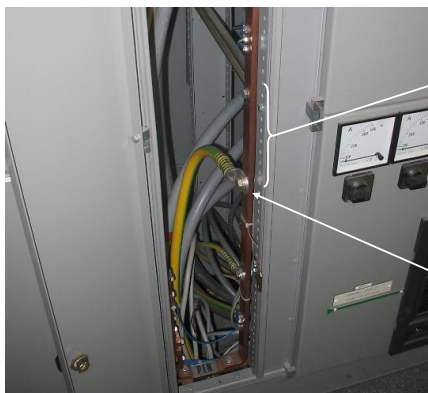
Interdiction d'interrompre le conducteur PEN



Interdiction d'interrompre le conducteur PEN



Interdiction d'interrompre le conducteur PEN



L1-L2-L3 raccordé à
l'appareil de coupure

Conducteur PEN et rail PEN
(pas d'interruption)

VOLTA
UNIVERSITÉ VAN ELST-PROTECHNIEK
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Schéma TN : Ce qu'il faut retenir!

- Que se soit en TN-C ou TN-S, lors de son apparition, le défaut d'isolement se traduit par un **court-circuit**
 $I_d = I_{cc} = 0,8 \times$ (le facteur 0,8 tient compte d'une chute de tension due aux impédances en amont et l'impédance de la boucle de défaut Z_d peut être réduite en bonne approximation à la résistance des câbles)
- Le **courant de défaut I_d** sera détecté par la partie magnétique des disjoncteurs. Il faudra donc veiller à toujours avoir un I_d suffisant çad $I_d > I_{mag}$ avec $t_{disj} < t_{sécurité}$
- Pour être sûr que $I_d > I_{mag}$ il faut être attentif à la longueur maximale des câbles.
- Il faut veiller à ce que $L_{max} = \frac{0,8 \times V \times S_{ph}}{p(1+m) \times I_{mag}}$
- Les PE(N) ne doivent jamais être coupés
- **TN-C-S** **Oui** **Mais** **TN-S-C** **Non**

Schéma IT

VOLTA
INSTITUT VAN ELKTRONISCHER
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

RGIE

C. Protection contre les chocs électriques par contact indirect en basse tension

1. Principes

RGIE 4.2.3.1. Généralités

2. Prises de terre, conducteurs de protection, conducteurs de terre et liaisons équipotentielles

3. Protection passive en basse tension sans coupure automatique de l'alimentation

4. Protection active en basse tension avec coupure automatique de l'alimentation et avertissement éventuel

RGIE 4.2.3.4. Principes

RGIE 4.2.3.4. a3. Dispositifs d'avertissement ou de coupure

RGIE 3.2.2.4. IT

Schéma IT

- Réseau de distribution:
 - Le point neutre ou aucun conducteur actif n'est relié directement à la terre
 - Une liaison à la terre peut exister mais au travers d'une haute impédance (schéma IT impédant)
- Masses de l'installation électrique:
Elles sont directement reliées à la terre soit individuellement soit regroupées

Schéma IT isolé sans distribution du conducteur neutre

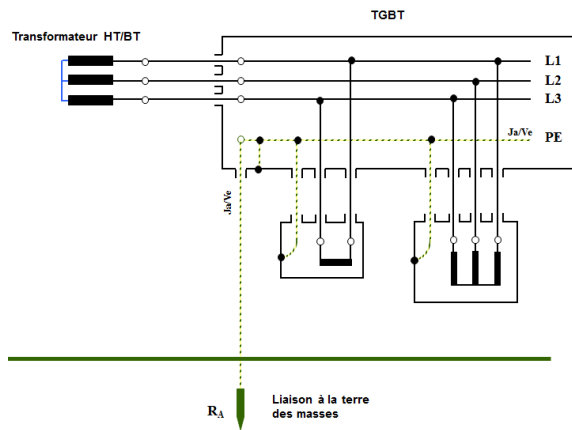
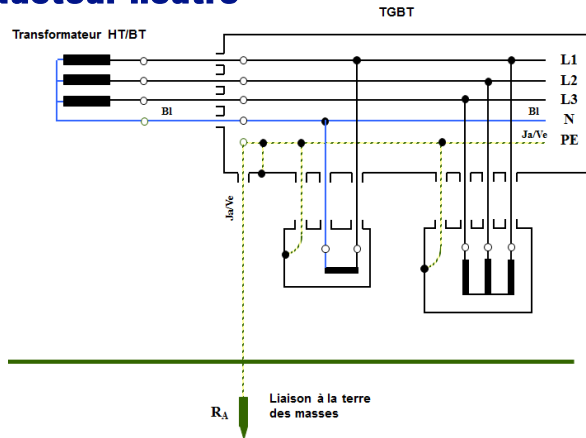


Schéma IT isolé avec distribution du conducteur neutre



VOLTA
UNIVERSITÉ D'ART ET D'ARCHITECTURE
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

RGIE, 4.4.4.5. : Dans les installations alimentées par un réseau IT, le conducteur neutre n'est en principe pas distribué. Si toutefois, pour des raisons d'exploitation, il est nécessaire de distribuer le conducteur neutre, une détection de surintensité est prévue sur le conducteur neutre de tout circuit, cette détection devant entraîner la coupure de tous les conducteurs actifs du circuit correspondant, y compris le conducteur neutre.

Cette disposition n'est pas nécessaire ... (diff. ou est protégé en amont contre les courts-circuits).

Schéma IT impédant sans distribution du conducteur neutre

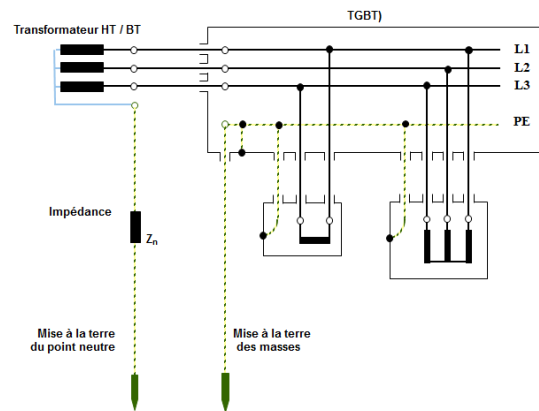
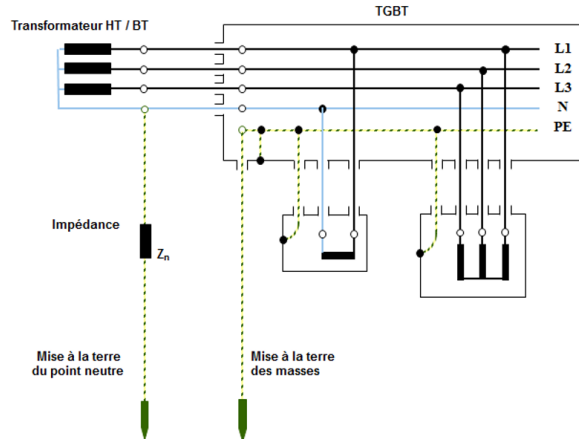


Schéma IT impédant avec distribution du conducteur neutre

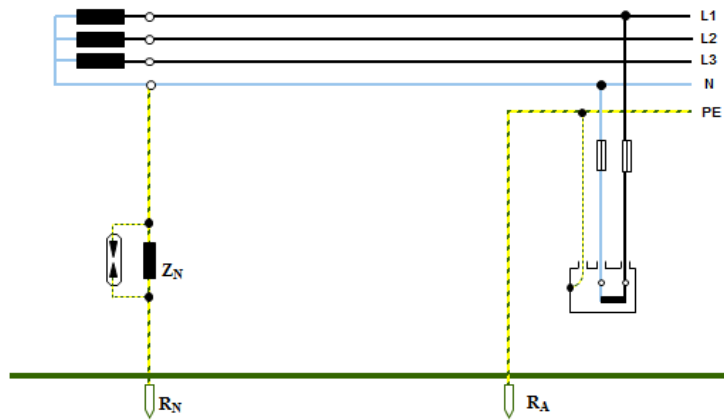


VOLTA
UNIVERSITÉ EN ÉLECTROTECHNIQUE
CARREFOUR DE L'ÉLECTROTECHNIQUE

RGIE 4.4.4.5. : Dans les installations alimentées par un réseau IT, le conducteur neutre n'est en principe pas distribué. Si toutefois, pour des raisons d'exploitation, il est nécessaire de distribuer le conducteur neutre, une détection de surintensité est prévue sur le conducteur neutre de tout circuit, cette détection devant entraîner la coupure de tous les conducteurs actifs du circuit correspondant, y compris le conducteur neutre.

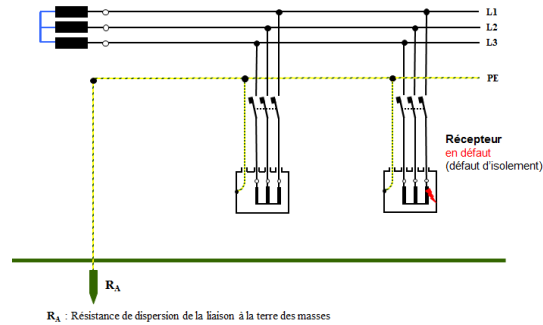
Cette disposition n'est pas nécessaire ... (diff. ou est protégé en amont contre les courts-circuits).

Protection contre les surtensions

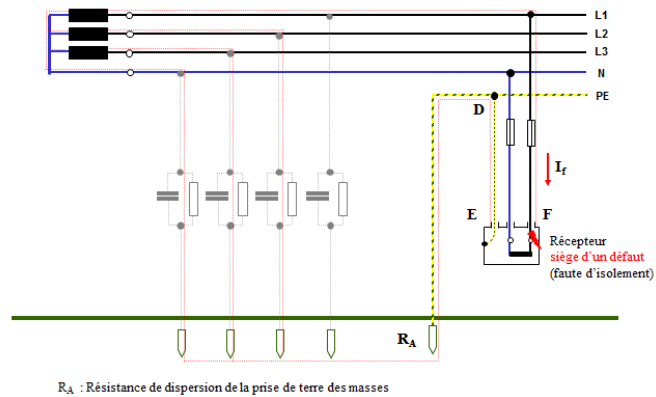


Premier défaut d'isolement en schéma IT isolé

- Pas de boucle de défaut → pas de courant de défaut
→ Pas de tension de défaut



Premier défaut d'isolement en schéma IT isolé



VOLTA
UNIVERSITÉ EN ÉLECTROTECHNIQUE
CARREFOUR DE L'ÉLECTROTECHNIQUE

Impédance de fuite des canalisations électriques

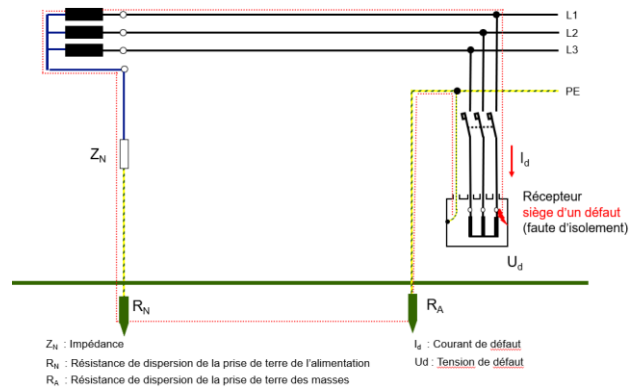
La présence des impédances de fuite des canalisations électriques vont permettre en cas de défaut d'isolement, l'établissement d'une boucle de défaut.

La boucle de défaut est constituée par:

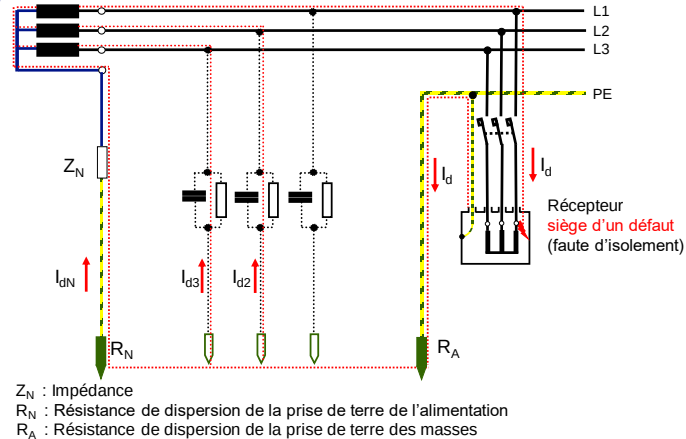
- Le conducteur de phase et le PE
- La liaison à la terre des masses
- L'impédance de fuite du réseau par rapport à la terre

Néanmoins, la haute impédance de la boucle ainsi formée limite fortement le courant de défaut.

Premier défaut d'isolement en schéma IT-impédant



Premier défaut d'isolement en schéma IT: impédance de fuite du réseau



VOLTA
 INSTITUT VAN ELKTRONISCHER
 CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Premier défaut d'isolement en schéma IT: boucle de défaut

Conducteur de phase

Conducteur PE

Liaison à la terre des masses

Impédance de fuite des canalisations électriques à la terre

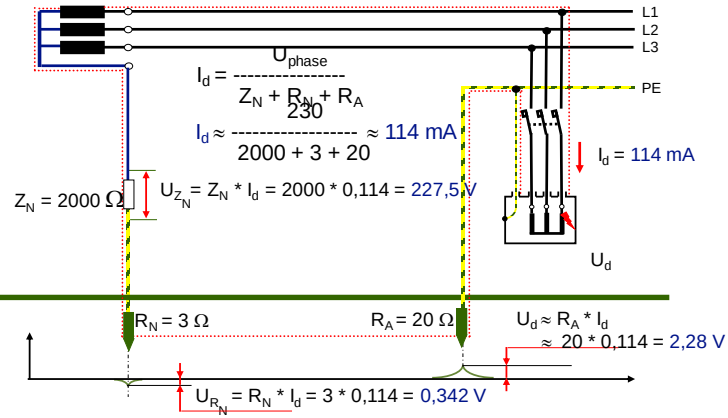
Impédance de fuite de grande valeur → courant de défaut très limité (ordre de grandeur d'un courant de fuite)

Attention, des courants de fuites trop importants seront considérés comme un défaut par le CPI. (CPI = contrôleur permanent d'isolement)

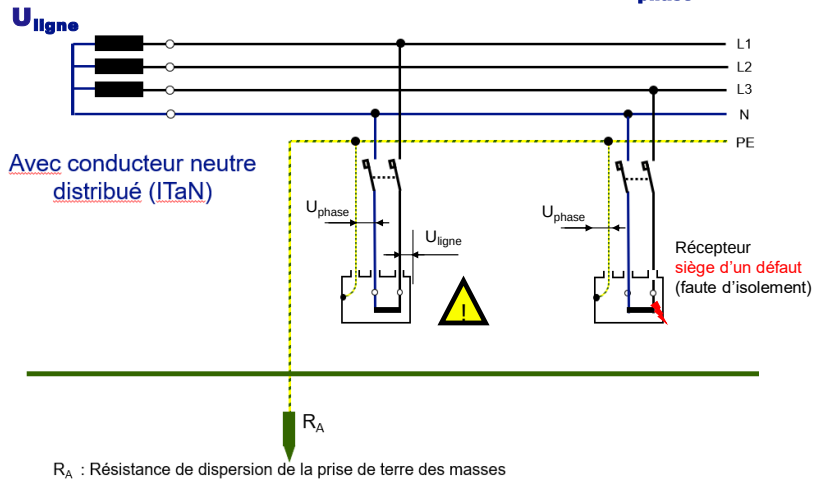
- Limiter au maximum les longueurs de câble
- Nécessité d'avoir plusieurs réseau de distribution
- Facilite la recherche de défaut

Ces impédances de fuite ont pour effet qu'un réseau IT peut se comporter comme un réseau TT.

Premier défaut d'isolement en schéma IT impédant



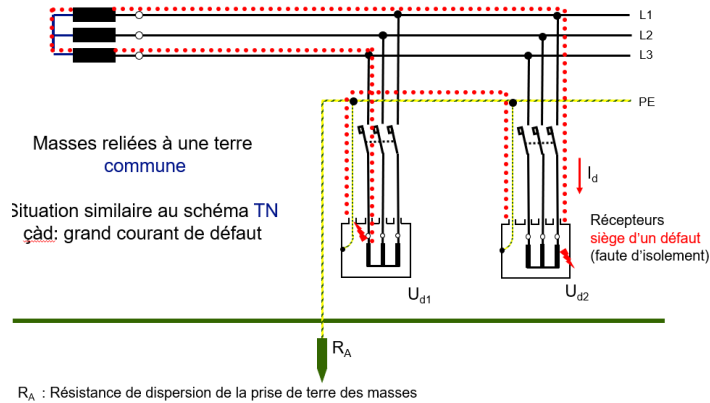
Premier défaut d'isolement en schéma IT: $U_{\text{phase}} \rightarrow$



VOLTA
UNIVERSITÉ EN ÉLECTROTECHNIQUE
CARREFOUR DE L'ÉLECTROTECHNIQUE

- Premier défaut d'isolement entre phase et masse
 → Tensions en présence:
 - Autres phases et les masses $\rightarrow U_{\text{ligne}}$
 - Conducteur neutre et les masses $\rightarrow U_{\text{phase}}$
 (si le neutre est distribué)
- Les conducteurs actifs (phase et neutre):
 Leur isolation doit résister à la tension U_{ligne} ce tant qu'entre conducteurs qu'entre conducteur et masse.

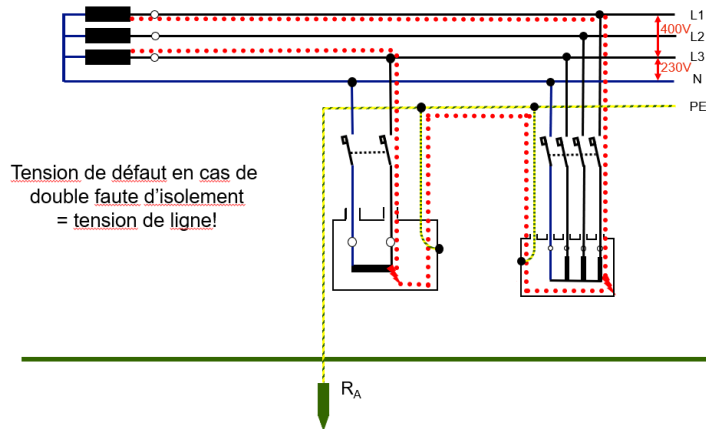
Défaut double d'isolement en schéma IT: boucle de défaut



2ème défaut d'isolement

- a) 2ème défaut au niveau du **même** conducteur de phase
→ situation **reste identique** à celle lors du **premier défaut d'isolement** (courant de défaut très limité)
- b) 2ème défaut au niveau d'un **autre** conducteur de phase
→ **boucle de défaut**
 - Toutes les masses sont reliées à **une même liaison à la terre** (situation identique à un **schéma TN**)
La boucle de défaut est formée par les conducteurs de phase et le PE
→ **Grand** courant de défaut
 - Les masses sont reliées à **des liaisons à la terre distinctes** (situation identique à un **schéma TT**)
Boucle de défaut au travers de la terre → **Faible** courant de défaut

Défaut double d'isolement en schéma IT: conducteur neutre distribué



VOLTA
UNIVERSITÉ EN ÉLECTROTECHNIQUE
CARREFOUR DE L'ÉLECTROTECHNIQUE

Nécessité d'avoir un conducteur de protection ! Cette nécessité est illustrée ici car il s'agit du dernier dessin, à titre de rappel. Notons que cette nécessité s'impose également pour les TT et TN.
Disjoncteur de puissance de court-circuit : I nettement inférieur à 400V qu'à 230V.

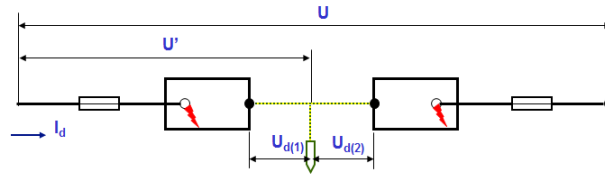
Premier défaut d'isolement en schéma IT

→ V (230 V) → U (400 V)

- Bon choix des appareils de protection:
Pouvoir de coupure sous U est inférieur au pouvoir de coupure sous V

Ue (V)	Icu (kA)
220/240	100
380/415	70
440	65
500/525	50
660/690	10
250	85
Ics = 100% Icu	
cat A	
	
IEC 947.2	

Calcul de I_d et U_d



Pour le calcul, nous allons considérer que nous sommes en présence de 2 circuits identiques et que dans ce cas: $U' = U / 2$

Dans le cas de 2 fautes d'isolement survenant au niveau de 2 conducteurs de phase

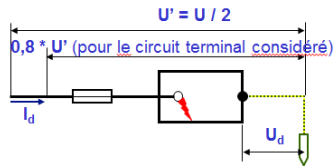
différents on est en présence de: $U = U_{\text{ligne}} = \sqrt{3} * U_{\text{phase}}$

Idans le cas de fautes d'isolement au niveau d'une phase et du neutre alors :

$$U = U_{\text{phase}}$$

VOLTA
INSTITUT VAN ELCTROTECHNIEK
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Calcul de I_d



$$I_d = \frac{0.8 * U}{2 * (R_{\text{phase}} + R_{\text{PE}})}$$

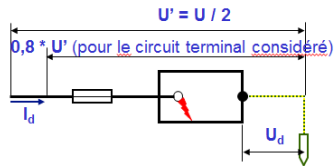
$$I_d = \frac{0.8 * U * S_{\text{phase}}}{2 * \rho * L * (1 + m)}$$

$$I_d = \frac{U}{2 * Z_S} \quad Z_S \sim R_S = R_{\text{phase}} + R_{\text{PE}}$$

$$R_{\text{phase}} = \frac{\rho * L}{S_{\text{phase}}} \quad R_{\text{PE}} = \frac{\rho * L}{S_{\text{PE}}}$$

$$m = \frac{S_{\text{phase}}}{S_{\text{PE}}}$$

Calcul de U_d



$$U_d = I_d * Z_{PE} \quad Z_{PE} = R_{PE}$$

$$U_d = \frac{0.8 * U * S_{phase}}{2 * \rho * L * (1 + m)} * \frac{\rho * L}{S_{PE}}$$

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

$$U_d = \frac{0.8 * U}{2} * \frac{m}{(1 + m)}$$

$U = U_{\text{ligne}}$ si le neutre n'est pas distribué
 $U = U_{\text{phase}}$ si le neutre est distribué

Vérification des temps de déclenchement

- En reportant la tension de défaut calculée U_d sur la **courbe de sécurité** on trouve la valeur t_s correspondante qui indique la durée maximale admissible du défaut.
On considère la tension de contact maximale soit la tension de défaut U_c
- L'intensité du courant de défaut calculée I_d est reportée sur la **courbe de déclenchement** du dispositif de protection. On peut ainsi trouver la valeur t_c correspondant à la durée de déclenchement du dispositif de protection pour cette intensité de défaut.
- La protection est considérée comme garantie si $t_c \leq t_s$

Vérification des seuils de déclenchement

Au lieu de se référer à durée de déclenchement du dispositif de protection, on peut aussi se référer à la valeur de l'intensité de courant qui correspond au seuil de déclenchement du dispositif de protection:

En cas de protection par fusible il faudra vérifier que la relation ci-dessous est bien satisfaite

$$I_f \leq I_d$$

I_f = courant de fusion du fusible correspondant à la durée maximale admissible de la tension de contact suivant la courbe de sécurité

En cas de protection par disjoncteur il faudra vérifier que la relation ci-dessous est bien satisfaite

$$I_m \text{ (max.)} \leq I_d$$

I_m = valeur de l'intensité de courant correspondant au seuil de déclenchement magnétique max.

Longueur des câbles maximale admissible

Pour chaque circuit on peut en schéma IT, avec masses raccordées à une seule et même terre, déterminer la longueur maximale du circuit $L_{\max}$ qui garanti la protection contre le contact indirect : $L \leq L_{\max}$

$$I_d = \frac{0.8 * V * S_{\text{phase}}}{2 * \rho * L * (1 + m)} \quad \text{Si} \left\{ \begin{array}{l} I_d = I_m \text{ (seuil magnétique du disjoncteur)} \\ \text{ou} \\ I_d = I_f \text{ (seuil de fusion du fusible)} \end{array} \right.$$

$$\text{Alors : } L_{\max} = \frac{0.8 * V * S_{\text{phase}}}{2 * \rho * (1 + m) * I_m \text{ (ou } I_f)}$$

$U = U_{\text{ligne}}$ si le neutre n'est pas distribué

$U = U_{\text{phase}}$ si le neutre est distribué

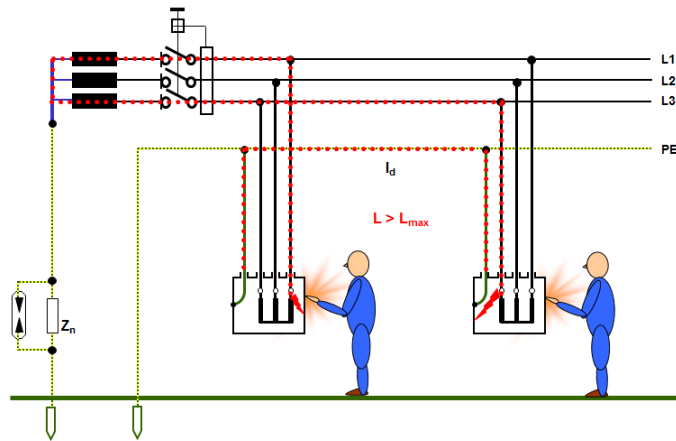
Solutions possibles si $L > L_{\max}$

- Modification des caractéristiques du dispositif de protection
Courbe de déclenchement avec d'autres caractéristiques (réaction plus rapide → augmentation de la sensibilité)
- Augmentation de la section des conducteurs (S_{phase} et S_{PE})
- Placement d'un DDR (à éviter)
 - Attention au placement correct du DDR
 - Vérifier la sélectivité horizontale
 - Sensibilité à choisir en fonction de la résistance de dispersion à la terre et l'intensité du courant de premier défaut

Placement du DDR

Le DDR ne déclenchera qu'en cas d'apparition du deuxième défaut et si une faute est en amont du récepteur et l'autre en aval.

- Le DDR ne sera jamais placé directement après la source, soit en tête d'installation
- En pratique, un DDR sera placé en tête de chaque circuit.



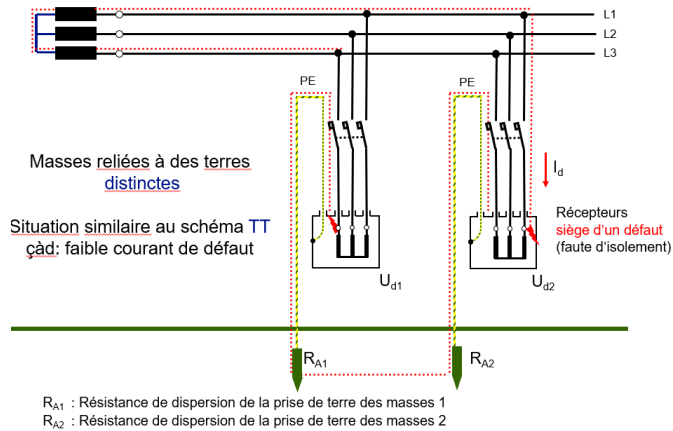
Le DDR ne fonctionnera pas en cas d'apparition d'un deuxième défaut en aval de l'appareil !!

VOLTA
UNIVERSITÉ EN ÉLECTROTECHNIQUE
CARREFOUR DE L'ÉLECTROTECHNIQUE

Le DDR ne déclenche qu'en cas de deuxième défaut d'isolement
ou si l'impédance de fuite a une valeur suffisamment faible :
 $R_A = 30\Omega$, $U = 230V$, $I_{\Delta} = 300mA$ $Z_d < (230V/0,3A) - 30\Omega = 766,67\Omega$.



Défaut double d'isolement en schéma IT: boucle de défaut



VOLTA
UNIVERSITÉ D'ART ET D'ARCHITECTURE
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

2^{ème} défaut au niveau d'un autre conducteur de phase

→ boucle de défaut

- Les masses sont reliées à des liaisons à la terre distinctes (situation identique à un schéma TT)
Boucle de défaut au travers de la terre → Faible courant de défaut

RGIE 3.2.2.4. ... Toutefois, les masses qui sont simultanément accessibles sont reliées au même PE.

Boucle de défaut lors en cas de deuxième défaut

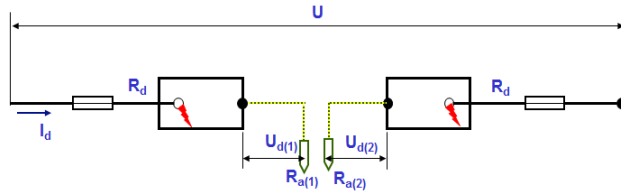
La terre est un des éléments de la boucle de défaut.

L'intensité du courant de défaut est limitée par l'impédance de la boucle de défaut et présente donc une intensité plus faible que celle d'un court-circuit.

Un des dispositifs de protection suivants doit être utilisé:

- Dispositif de protection contre les surintensités
- Dispositif de protection sensible au défaut de tension
- DDR (attention à la continuité de service)

Boucle de défaut lors en cas de 2ème défaut



Dans le cas de 2 fautes d'isolement survenant au niveau de 2 conducteurs de phase

différents on est en présence de: $U = U_{\text{ligne}} = \sqrt{3} * U_{\text{phase}}$

Idans le cas de fautes d'isolement au niveau d'une phase et du neutre

alors: $U = U_{\text{phase}}$

$$I_d = \frac{U}{R_{a(1)} + R_{a(2)}} \quad U_{d(1)} = I_d * R_{a(1)}$$

$$U_d = \frac{U * R_{a(1)}}{R_{a(1)} + R_{a(2)}}$$

Bij verwaarlozing van R_d

Conditions de protection

Le temps de déclenchement de l'appareil de protection ne peut pas être supérieur au temps maximum admissible donné par la courbe de sécurité pour la tension de contact attendue.

Les conditions de protections sont garanties si la résistance de dispersion de la liaison à la terre auxquelles les masses sont raccordées est conforme à la relation reprise ci-dessous:

$$R_a \leq \frac{U_L}{I_a}$$

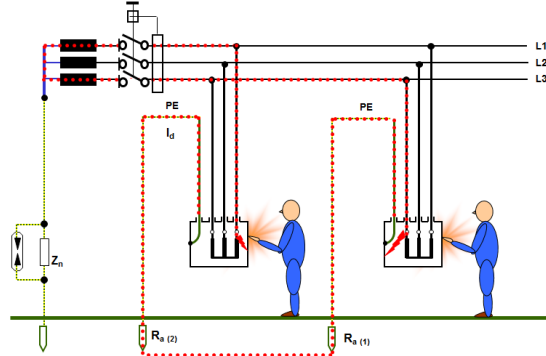
U_L étant la valeur de l'intensité de courant qui garanti le fonctionnement du dispositif de protection ($= I_{an}$).

Placement du DDR

Le DDR ne fonctionnera qu'un cas de double défaut et que un des défaut survient en amont et l'autre en aval d'un appareil

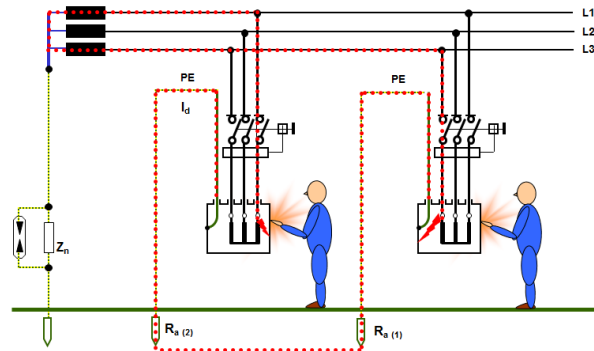
- Le DDR ne peut jamais être placé en tête de l'installation (çàd juste après la source)
- En pratique, on placera un DDR en tête de chaque circuit

Schéma IT avec masses reliées à des terres séparées



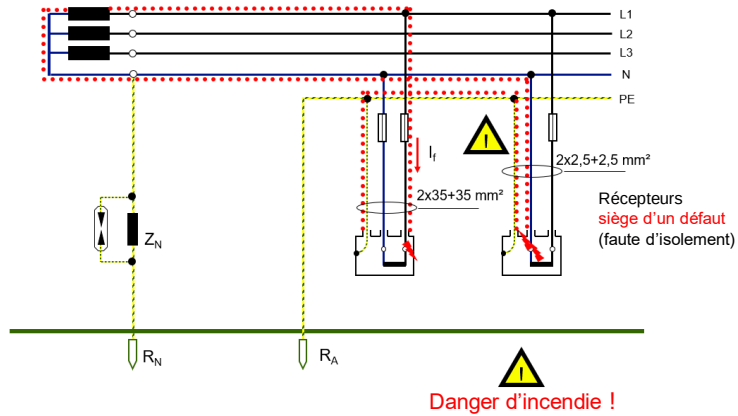
Le DDR ne fonctionnera pas en cas d'apparition d'un deuxième défaut en aval de l'appareil !!

Schéma IT avec masses reliées à des terres séparées



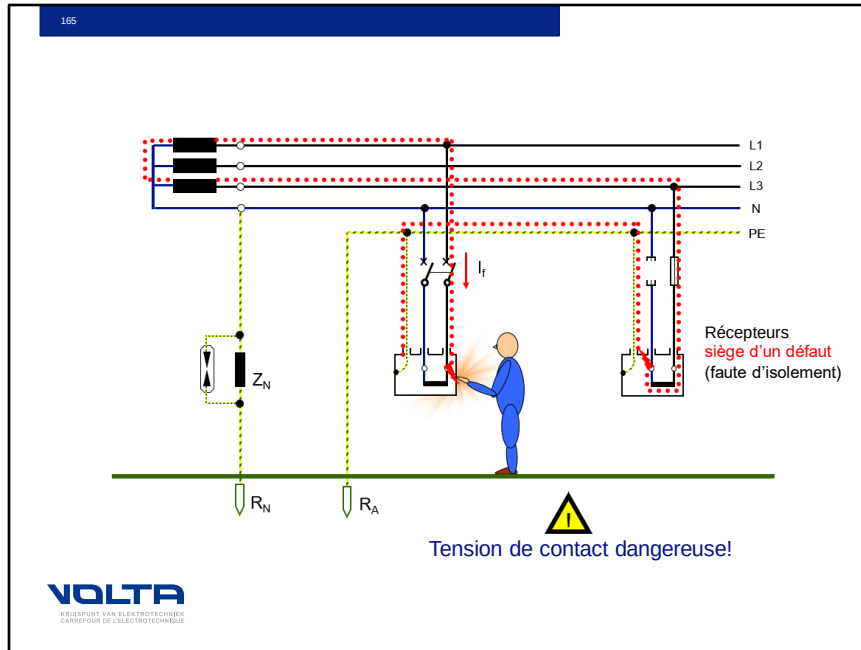
Contrôle de la sélectivité horizontale!

Risque de dommage au conducteur neutre s'il est non protégé



VOLTA
KRUIJSPUNT VAN ELEKTROTECHNIEK
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

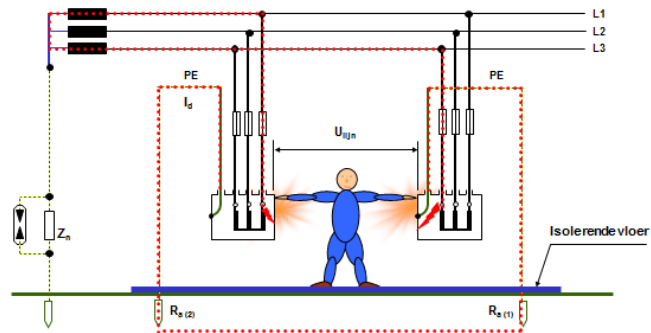
- La distribution du conducteur neutre est déconseillée car en cas de défaut double (phase/masse et neutre/masse) le courant de défaut pourrait occasionner des dommages au conducteur neutre (non protégé)
- Courant de défaut supérieur au courant admissible de la canalisation
- Dans un schéma IT avec neutre distribué, il faut toujours veiller à protéger les conducteurs neutres



- Si le conducteur neutre est protégé par l'intermédiaire d'un fusible, la fusion de celui-ci lors d'un double défaut (phase/masse en neutre/masse) peut avoir les conséquences suivantes :
 - Distribution de la tension de ligne au niveau des récepteurs
 - Présence de tension de contact importante liée à la permanence de la circulation du courant de défaut
- Il faudra donc veiller à protéger phase et neutre au moyen d'un disjoncteur dont le calibre est adapté à la section du conducteur neutre

Si le conducteur à une section inférieure à celle des phases, la protection du neutre devra être appropriée

Schéma IT avec masses raccordées à des terres différentes : masses accessibles simultanément

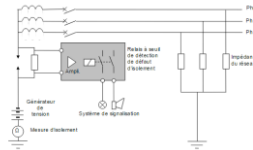


VOLTA
 VERBODEN TOEGANG ELEKTROTECHNIEK
 CARREFOUR DE ELECTROTECHNIEK

Les masses simultanément accessibles doivent être raccordées au moyen d'une liaison équipotentielle afin d'éviter qu'elles soient portées à un potentiel dangereux lors de l'apparition d'une deuxième faute d'isolement

Schéma IT: Détection du premier défaut d'isolement

- Pour éviter les situations dangereuses en cas d'apparition d'un deuxième défaut d'isolement, il faut rapidement détecter l'apparition du premier défaut d'isolement.
- Ceci est possible grâce à la présence d'un:
- Contrôleur permanent d'isolement (CPI triphasé)



Comparaisons des différents schémas de liaison à la terre

La sécurité des personnes est autant assurée en schéma TT, TN ou IT
pour peu que
la conception et la réalisation
de l'installation soient correctement réalisées

Schéma TT: avantages et inconvénients

Avantages

Protection au moyen d'un DDR

- + Simple
- + Bon pour la protection incendie
- + Perte d'énergie limitée en cas de courant de fuite
- + Sélectivité horizontale facile à réaliser

Inconvénients

- Coupure de l'alimentation dès le premier défaut d'isolement
- Pour les grandes installations: plusieurs DDR → coût
- Sélectivité verticale plus difficile à réaliser

Schéma TN: avantages

TN-C: moins coûteux

- + Seulement 4 conducteurs (mais une plus grande section pour le PEN)
- + Protection tripolaire
- + Pas de DDR

TN-S:

- + DDR pas (toujours) nécessaire
- + Le courant dans le neutre ne circule ni dans les masses ni dans les parties conductrices étrangères

VOLTA
UNIVERSITÉ VAN ELST-PROTECTOR
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Faible défaut d'isolement : défaut impédant (perte d'isolation partielle).

Il doit toujours s'agir d'un défaut d'isolement, et non d'un courant défaut liée au fonctionnement normal (four à micro-ondes).

Si les courants de fuite sont trop élevés, ils peuvent également faire déclencher les différentiels.

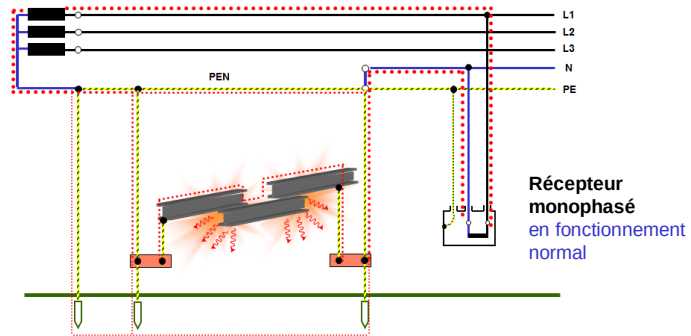
Comparons avec le RGIE 4.4.1.2. (« les surintensités », point 2) :

« les courants de court-circuit impédant du matériel électrique ; ces défauts provoquant des courants à allure de surcharge proviennent du passage du courant au travers de l'isolation **devenue défectueuse** ; »

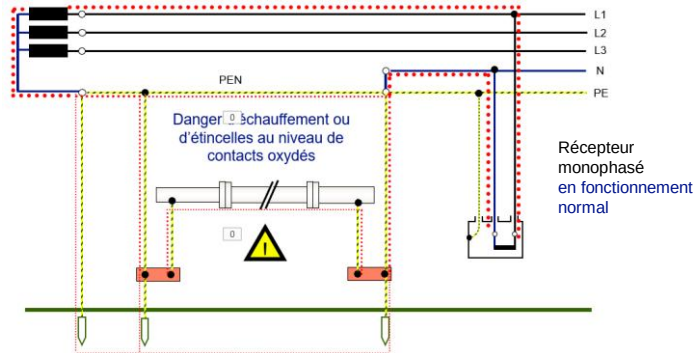
Schéma TN: inconvénients

- Coupure de l'alimentation dès le premier défaut d'isolement
- Sans la présence de DDR:
 - Défaut d'isolement fortement impédant (différent qu'un contact franc):
Un courant de défaut limité peut persister
 - Tension de défaut doit rester en deçà de la courbe de sécurité
→ section des câbles doit être suffisante → pré-étude nécessaire
 - Mise à la terre multiple (art 80)
 - Perte d'énergie → résistance d'isolement à contrôler régulièrement
 - Défaut d'isolement: courant de défaut important
 - Puissance dissipée importante
→ plus grande probabilité d'avoir des dégâts importants

Courant au travers des pièces conductrices étrangères qui sont raccordées au conducteur PEN via les liaisons équipotentielles



TN-C(-S) Circulation d'un courant dans les parties conductrices reliées au PEN via les liaisons équipotentielle



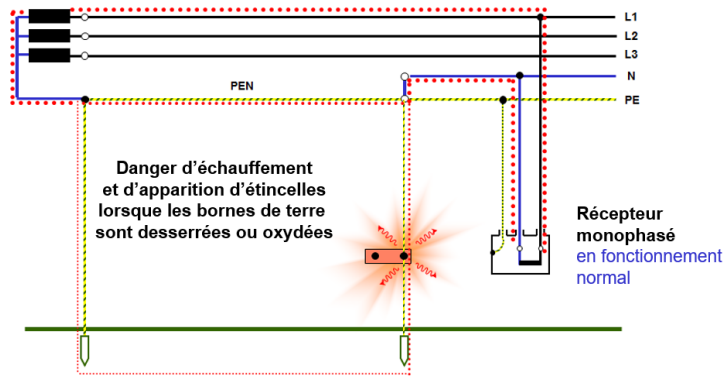
Courant au travers d'une canalisation d'eau qui est raccordée au conducteur PEN via les liaisons équipotentielle

Courant de 632 mA
Danger d'échauffement
et d'apparition d'étincelles
au niveau des raccords (oxydés)
entre canalisations



VOLTA
INSTITUT VAN ELKTRONIEK
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE

Circulation d'un courant dans les liaisons à la terre raccordées au conducteur PEN



Bornes de terre oxydées



**Danger d'échauffement
et d'apparition d'étincelles
lorsque les bornes de terre
sont desserrées ou oxydées**

Schéma IT: avantages et inconvénients

Avantages:

- Pas de coupure de l'alimentation lors du premier défaut d'isolement

Inconvénients:

- Le premier défaut doit être détecté et éliminé
→ nécessité de placer un CPI et d'avoir du personnel BA4-BA5
- Isolation et I_{cc} des protections doivent être adaptés à la tension de ligne
- Tension de défaut en deçà de la courbe de sécurité
 - En cas de mise à la terre groupée:
section des câbles suffisamment grande → nécessité une pré-étude
 - En cas de mise à la terre distincte: DDR
 - Longueur des câble limitée
- En cas de surtension accidentelle, comme il n'y a pas de possibilité d'évacuation via la terre, il faudra prévoir une protection contre les surtensions

Choix du type de schéma de liaison à la terre

Personnel qualifié	Priorité à la continuité d'exploitation	
	OUI	NON
OUI	IT	TT ou TN
NON	?	TT

Installation résidentielle

TT

Installation industrielle

TN - TT - IT

Comparaison des différents SLT : Synthèse

Critères de comparaison		TT	TN-S	TN-C	IT ⁽¹⁾	IT ⁽²⁾		
Protection des personnes contre les chocs électriques	Contacts indirects	+	+	+	+	+		
	Contacts directs	+	+	+	+	+		
Protection contre les risques d'incendie explosion électrique		-	---	interdit	+	---		
Continuité d'alimentation	Creux de tension	+	-	-	++	-		
	Sélectivité	-	+	+	++	+		
	Déclenchement	-	-	+	+	-		
	Temps de recherche	-	+	+	-	+		
	Temps de réparation	---	---	---	-	---		
Protection contre les surtensions		-	+	+	+	+		
Claquage transformateur		-	+	+	+	+		
Compatibilité électromagnétique (CEM)								
Rayonnements		+	-	---	++	-		
Chutes de tension		+	-	-	++	-		
Harmoniques		+	+	---	+	+		
Coûts	à la conception	Etude de sélectivité		-	+	++	+	
		Calcul de L max		+	-	-	+	
	à l'installation	Nombre de câbles		+	+	++	+	
		Nombre de pôles		+	+	++	+	
		Pose des câbles		-	---	---	++	
	à l'exploitation	Matériels spécifiques		-	+	+	-	
		Recherche de défauts		-	+	+	---	
		Coût des réparations		---	---	---	---	
		Vérification des connexions		+	-	-	++	-
		Facilité d'extensions		+	-	-	+	-

(1) Schéma TT en présence d'un danger défaut d'isolement entre une phase et le neutre

(2) Schéma TT en situation de double défaut d'isolement

(1) Schéma IT en présence d'un simple défaut d'isolement entre une phase et le neutre

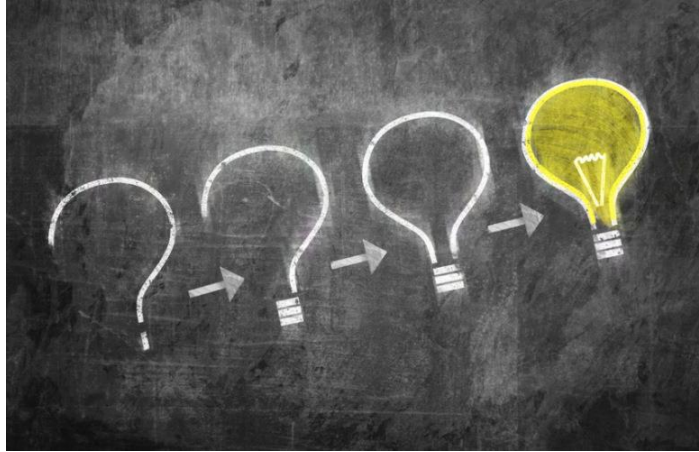
(2) Schéma IT en situation de double défaut d'isolement

Votre avis compte !

- Volta veut constamment améliorer la qualité de ses formations et votre avis est important.
- À l'aide de votre GSM, scannez ce QR-code et complétez le formulaire d'évaluation.

D'avance, nous vous en remercions.





VOLTA
INSTITUT VAN ELEKTROTECHNIEK
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE



VOLTA
UNIVERSITÉ VAN ELKRETECHNIEK
CARREFOUR DE L'ELECTROTECHNIQUE