



Guide d'utilisation pour les parafoudres

2012.2



Préface

Ce document a été réalisé avec la collaboration de clients qui ont donné les informations à Finder sur les règles à respecter concernant l'installation correcte des parafoudres pour des applications industrielles, tertiaires ou photovoltaïques.

Le document ci-joint se présente sous la forme d'un entretien avec le lecteur pour transmettre des concepts complexes de la manière la plus simple possible.

Quelques formules mathématiques sont utilisées pour approfondir techniquement le sujet.

Bien qu'il se réfère au projet de norme pr EN 50539-11 pour les applications photovoltaïques, ce fascicule n'a pas la prétention d'être un guide normatif. Pour les normes et guides ainsi que pour toute information complémentaire, on se reportera à la lecture des textes rappelés en bibliographie.

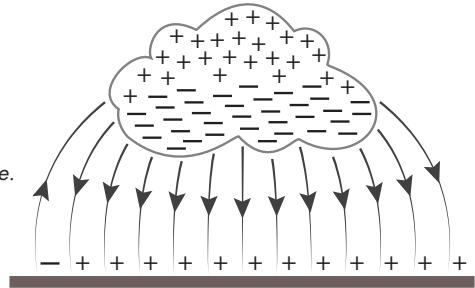
Sommaire

1- L'origine de la foudre	page 1
Foudre descendante négative	page 1
Foudre descendante positive	page 3
Foudre ascendante	page 3
Pourquoi se protéger des surtensions	page 3
2 - Type de foudroiement	page 4
Principes généraux	page 5
Niveau d'immunité, tension de protection et dommages économiques	page 8
Les surtensions	page 8
Les surtensions de manœuvres	page 9
Les surtensions d'origine atmosphériques	page 9
Foudroiement direct et indirect	page 9
Surtensions induites	page 10
Foudroiement direct	page 11
3 - Fonctionnement d'un parafoudre	page 12
Type de parafoudre	page 14
L'éclateur	page 14
Principe de fonctionnement	page 15
Courant de suite	page 16
Le varistor	page 17
4 - Caractéristiques et applications pratiques des parafoudres	page 20
Parafoudres... parafoudre en pratique	page 22
5 - Technique d'installation	page 24
Distance de protection	page 28
Système de parafoudre et coordination énergétique	page 30
Systèmes de protection: fusibles, interrupteurs magnétothermiques et magnétothermiques différentiels	page 32
6 - Applications industrielles	page 35
Système TN	page 35
Système IT	page 37
Système TT	page 39
Mode de protection des parafoudres	page 42
7 - Applications tertiaires	page 43
Parafoudres Moyenne Tension	page 43
Parafoudres montés en amont ou en aval du différentiel ?	page 44
8 - Installations photovoltaïques: protection contre la foudre et surtensions	page 47
Foudroiement direct	page 47
Foudroiement direct pour installation PV reliées à la terre	page 48
Installation photovoltaïque sur le toit d'un bâtiment	page 48
Foudroiement indirect	page 48
Mesure de protection contre les surtensions. Protection cote AC	page 49
Mesure de protection contre les surtensions. Protection cote DC	page 51
Mesures préventives	page 53
Protection des parafoudres: fusibles ou magnétothermiques? pr EN 50539-11	page 54
Exemples d'application - installation photovoltaïque domestique, onduleur dans le grenier	page 56
Exemples d'application - installation photovoltaïque domestique, onduleur en sous-sol	page 57
Exemples d'application - installation photovoltaïque en toiture de faible puissance	page 58
Exemples d'application - installation photovoltaïque à terre	page 59
Exemples d'application - installation photovoltaïque en toiture de moyenne/grande puissance	page 60

1 - L'origine de la foudre

La foudre est une décharge électrique que l'on peut rencontrer lors d'épisodes orageux. Durant l'épisode orageux, à l'intérieur des nuages, généralement des cumulo-nimbus, il se produit une séparation de charges de polarité opposée: les charges négatives se répartissent dans la partie inférieure du nuage, les charges positives sur la partie supérieure du nuage. La formation de charge à l'extrémité du nuage est due au frottement de particules de glace et d'eau mises en mouvement par les courants d'air ascendants à l'intérieur des nuages. Pour représenter graphiquement la répartition des charges on peut imaginer un gros dipôle dont le champ électrique se referme sur la terre (Figure 1).

Figure 1:
Répartition des charges électriques
à l'intérieur d'un nuage et
développement du champ électrique.



La décharge électrique se produit quand l'intensité du champ électrique dépasse la valeur de la rigidité diélectrique de l'air qui, s'il est sec et propre, est égale à 30 kV/cm. Pendant une activité orageuse, en raison de l'humidité et de la présence de poussières atmosphériques, la rigidité diélectrique de l'air chute à quelques KV/cm, facilitant ainsi, la décharge électrique.

Nous pouvons identifier trois types de foudres:

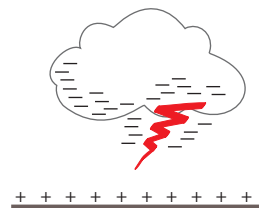
- 1) Foudre nuage-nuage: la décharge se produit entre deux nuages proches
- 2) Foudre interne au nuage: la décharge se produit à l'intérieur même du nuage
- 3) Foudre nuage-terre: la décharge se produit entre la terre et le nuage, indépendamment de l'origine.

En poursuivant dans la classification des différents types de foudre, on peut distinguer "la foudre descendante", elle part du nuage et "la foudre ascendante" qui part de la terre. On peut encore classifier la foudre selon sa propre polarité, définie par convention égale à celle de la charge du nuage: nous distinguons donc les foudres positives et négatives.

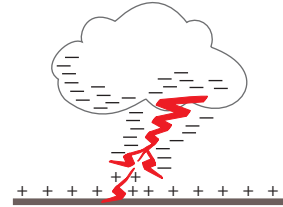
Foudre descendante négative

Nous décrivons le parcours suivie par une décharge négative nuage-terre, pendant sa formation. Ce type est pour nous le plus intéressant, car le plus fréquent. Nous distinguons les phases suivantes:

Phase 1: les charges électriques s'accablent dans une partie du nuage, le champ électrique local augmente jusqu'à dépasser la rigidité diélectrique de l'air: à cet instant se produit une première décharge qui a une longueur de quelques centimètres. Dans cette phase initiale, les courants associés ont une valeur qui en moyenne ne dépasse pas les 500 A (occasionnellement ils peuvent atteindre quelques kilo ampères). Ils sont caractérisés par une forme irrégulièrement plate. Pour cette raison, on parle de "courant continu".



Phase 2: la décharge se propage tant que la rigidité diélectrique de l'air est inférieure à celle associée aux charges électriques: si elle est supérieure, la décharge s'interrompt. S'étant ouvert un canal ionisé, les autres charges s'échappent du nuage intensifiant le champ jusqu'au point d'arrêt. Le champ électrique augmente à nouveau jusqu'à générer une nouvelle décharge, dans une nouvelle direction, correspondant à une rigidité diélectrique de l'air inférieure à celle du champ électrique. Le canal de foudre se propage dans la direction nuage-terre, portant une partie des charges électriques du nuage selon le mode décrit, avec des changements de direction continus, en fonction de la rigidité diélectrique de l'air. Ceci crée un parcours en zigzag typique de la foudre. Par analogie à ce qui se passe dans le nuage, sur la terre également on trouve une répartition des charges de signe opposé à la charge électrique portée par le canal de foudre.



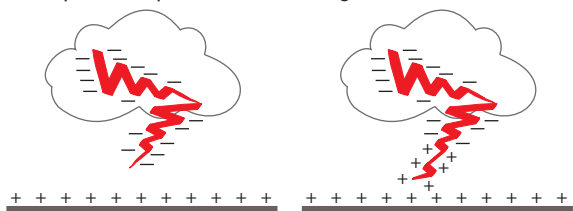
Phase 3: du sol naît un canal ascendant (contre charge) qui part vers le haut jusqu'à rencontrer le canal descendant. Quand les deux canaux se rencontrent, il s'établit un courant appelé courant de foudre. La zone à terre qui sera foudroyée est celle d'où est partie la contre-charge. Il se produit donc le premier coup de foudre caractérisé par un courant avec des valeurs comprises entre 2 et 200 kA, et par des fronts d'ondes très rapides: 0.5 à 100 kA/μs. On parle alors de courant d'impulsion.



Phase 4: l'Éclair. L'éclair n'est rien d'autre que l'effet thermique et lumineux associé au passage du courant de foudre. Le réchauffement et le refroidissement de l'air au passage de ce courant de foudre engendrent des phénomènes d'extension et de compression, générant le tonnerre.



Phase 5: décharges successives. Souvent après la première décharge, on assiste à des phénomènes de décharges successives. Ceci est dû au fait que le canal ionisé est maintenant "ouvert". Ces décharges sont caractérisées par un potentiel énergétique plus faible.



En considérant les 5 phases décrites, nous pouvons conclure que le premier coup de foudre est associé à une intensité de courant beaucoup plus élevée due à sa progression en "marche-arrêt" successifs et caractérisé par "des accumulations énergétiques" qui définissent le développement en zigzag typique du cheminement de la foudre vers la terre. On en déduit que la forme d'onde associée est caractérisée par des fronts d'onde de montée ou de descente "longs": une centaine de microsecondes. Les coups de foudre suivant le premier, au contraire, sont caractérisés par des fronts d'onde rapides, car le canal de décharge est déjà ionisé et les décharges électriques n'ont pas de difficulté pour progresser. Dans ce cas, on parle de dizaines de microsecondes. La rapidité du mouvement et l'absence "d'obstacle" à l'avancement du courant font que ces décharges successives ont une énergie inférieure à celle des premiers coup de foudre. On parle de dizaines de kilo ampères contre une centaine de kilo ampères pour le premier coup de foudre.

Foudre descendante positive

Les décharges positives sont créées par des charges positives et prennent leur origine à la partie supérieure du nuage. Les cumulonimbus sont des nuages d'une hauteur importante, donc les décharges de foudre positives se font à travers un canal très long. Ceci a deux effets:

- les courants associés aux décharges de foudre positives sont très élevés, supérieurs au premier coup de foudre négative
- la longueur élevée du canal de décharge, peut atteindre 10 kms et fait qu'après la première décharge, il y a une probabilité importante pour que la partie du canal la plus "vieille" se refroidisse et ne soit plus ionisée, rendant impossible le passage d'autres courants, et donc, la génération de décharges successives.

Foudre ascendante

Durant les phénomènes orageux, le canal de foudre peut avoir pour origine des structures naturelles ou artificielles telles que des arbres, les grillages métalliques etc. caractérisées par une certaine hauteur. Ce phénomène est dû à la concentration du champ électrique dans les parties pointues.

Le canal de foudre ascendant prend son origine et se propage vers le haut suivant le même principe que pour les coups de foudre descendants. Dans ce cas, la contre-charge partira du nuage. Ainsi, comme pour la foudre descendante négative, lorsque le canal sera ionisé, des décharges successives de même intensité peuvent se produire.

Comment se protéger des surtensions?

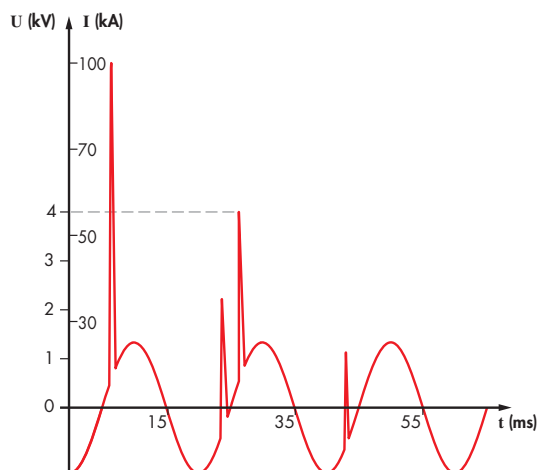
Depuis ces dernières années, la protection contre les surtensions est devenue une nécessité en raison de l'utilisation toujours plus importantes de composants électroniques comme par exemple les transistors type Mosfet, beaucoup plus sensibles par nature aux surtensions.

Dans le passé, nous trouvons sur les installations électriques, des composants électromécaniques tels que les moteurs, transformateurs etc... plus résistants à ces phénomènes impulsifs.

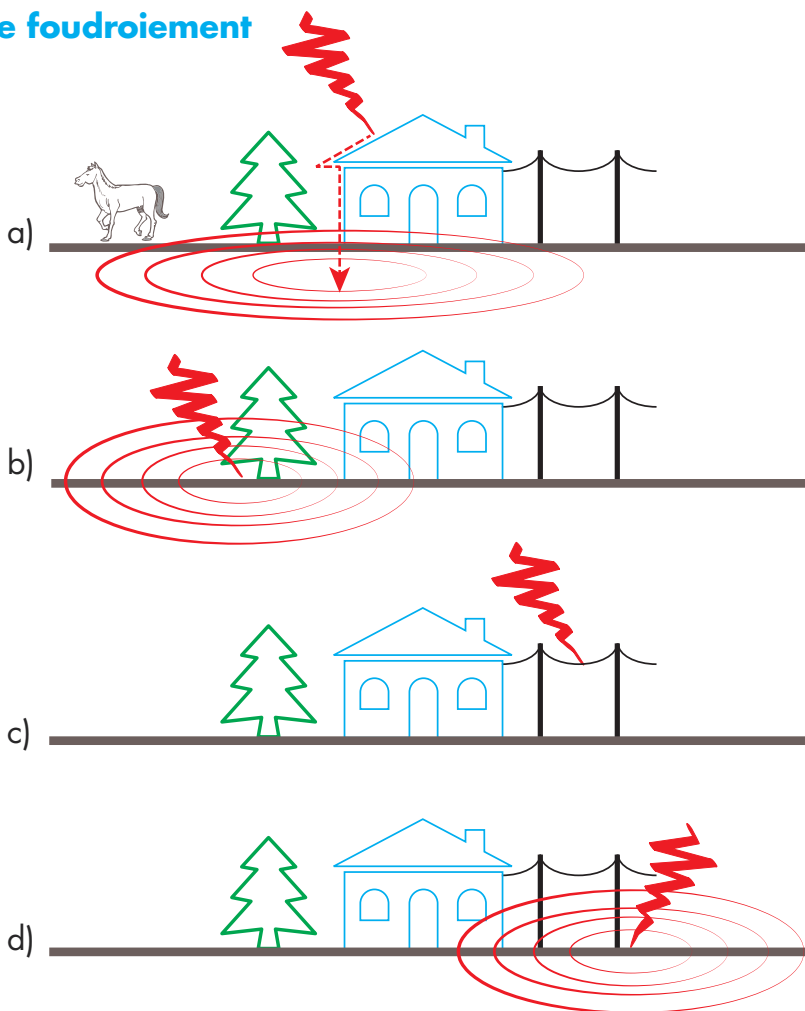
Les causes de dégât n'ont pas augmentées, mais nos habitations et nos industries sont équipées de dispositifs plus sensibles ce qui fait que, comme nous le verrons plus loin, les normes nationales de beaucoup de pays, prévoient l'installation de parafoudres même dans les tableaux électriques principaux des habitations résidentielles.

Les parafoudres trouvent leur application et leur diffusion rapidement non pas parce qu'il s'agit d'une nouveauté commerciale à proposer au marché mais surtout, parce qu'ils sont économiques par rapport aux autres systèmes de protection contre les surtensions. Ils peuvent être ajoutés à une installation existante, et ils sont parfaitement efficaces s'ils sont sélectionnés et installés correctement.

Représentation des valeurs d'amplitude d'une surtension en fonction du temps.



2 - Type de foudroiement



Les différents type de foudroiement peuvent être regroupés en 4 cas représentés ci-contre.

- Foudroiement direct du bâtiment.** Si le bâtiment est doté d'une installation parafoudre, la foudre sera déchargée vers la terre mettant sous tension l'installation de terre et tout ce qui lui est raccordé. Avec le foudroiement direct on rencontrera soit un couplage inductif, par exemple entre la descente de terre et un réseau de câbles électriques qui lui est parallèle, soit un couplage résistif par exemple entre la descente de terre et une conduite de gaz. Les surtensions qui se produisent dans le cas d'un couplage résistif peuvent générer des décharges dangereuses parce qu'elle contiennent une énergie suffisante pour provoquer un incendie ou détruire les appareils. Le couplage résistif entre les parties conductrices détermine en outre la naissance de tensions de pas dangereuses et de contact. Les tensions de pas ont un développement décroissant et sont dangereuses aussi bien pour les êtres humains que pour les animaux.
- Foudroiement indirect du bâtiment.** Dans ce cas on parle uniquement du couplage inductif. Les surtensions sont générées par le champ magnétique associé au courant de foudre qui passe dans les parties métalliques conductrice de l'édifice.
- Foudroiement direct de la ligne.** Le courant de foudre se répartira à part égale dans les deux sens de la ligne, il passera au travers du transformateur MT/BT et génèrera des surtensions sur tout ce qui raccordé à la terre.
- Foudroiement indirect sur la ligne (couplage inductif).** Les surtensions induites, qui ont une amplitude variables de 3 à 5 kV, n'ont pas une énergie suffisante pour allumer un incendie, mais elles peuvent détruire les appareils.

Principes généraux

Avant d'aborder les aspects plus complexes liés au choix, à l'installation et aux applications des parafoudres, il convient de présenter les différents types de parafoudres existants, les sous-divisions en zone de l'environnement et la valeur de tenue aux impulsions de l'appareillage électronique. Des informations qui sont utiles pour comprendre le monde des parafoudres.

Selon le rôle que devront remplir les parafoudres, ils seront de Classe I, s'ils sont destinés à limiter les surtensions auxquels sont associés tout ou partie des courants de foudre, de classe II s'ils sont destinés à protéger l'appareillage des surtensions induites, et de Classe III, s'ils sont destinés à protéger en fin de réseau des appareils électroniques contre des tensions résiduelles.

Correspondances de nomenclature:

IEC	Classe I	Classe II	Classe III
Europe	Type 1	Type 2	Type 3
VDE	B	C	D

Dans le texte nous utiliserons indistinctement les termes "Classe" et "Type".

Comme dit précédemment, selon le type de protection que devront offrir les parafoudres, ils seront regroupés par Type. Le type d'appartenance identifie l'essai auquel le parafoudre a été soumis en terme de courant de décharge.

Type 1: les parafoudres qui appartiennent à ce type sont testés par le constructeur, avec un générateur d'onde 10/350 μ s. Cette forme d'onde est celle qui est utilisée pour simuler un premier coup de foudre et définit la prestation du parafoudre en terme d'impulsion (ou de choc) de courant: I_{imp} .

Les parafoudres de type 1 sont également testés en terme de courant nominal I_n , avec une forme d'onde 8/20 μ s, typique des surtensions induites. Les parafoudres de Classe I sont obligatoires avec les bâtiments équipés de paratonnerre.

Ils sont installés dans l'armoire principale au point de raccordement du réseau électrique.

Type 2: les parafoudres appartenant à ce type sont testés avec un générateur de forme d'onde 8/20 μ s (typique des surtensions induites) qui va définir la prestation en terme de courant nominal et de courant maximal, respectivement I_n et I_{max} .

Ils sont installés dans le tableau de distribution.

Type 3: appartiennent à cette classe les dispositifs chargés d'un rôle d'ajustement de la surtension, le gros de l'énergie ayant été réduit par les parafoudres installés en amont. Les parafoudres de type 3 sont plus rapides et éliminent les surtensions résiduelles.

Ces parafoudres sont testés avec un générateur de type combiné qui génère une tension à vide U_{oc} avec une forme d'onde 1.2/50 μ s, et un courant nominal I_n ayant une forme d'onde 8/20 μ s. Ils seront installés à proximité des appareils électroniques et électriques finaux.

Ci-contre la représentation des formes d'ondes caractéristiques des parafoudres:

En observant la *Figure 2* on peut estimer, en considérant la surface située sous la courbe, la valeur énergétique majeure de la forme d'onde 10/350 μ s (typique du premier coup de foudre).

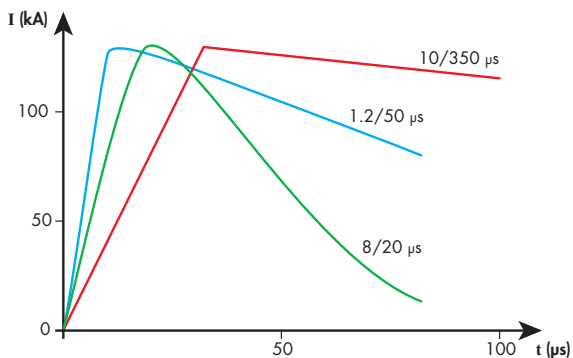


Figure 2: Formes d'onde normalisées.

Selon la norme 62305-1, on peut diviser l'environnement électromagnétique associé à une décharge de foudre, en zones appelées LPZ (lightning Protection Zone).

Des systèmes de protection tels que des LPS (Lightning Protection System), des câbles, des parafoudres... définissent une zone de protection. Les zones sont caractérisées par des variations électromagnétiques significatives (par exemple intensité du champ électromagnétique, valeurs du courant de foudre, valeurs de surtension, etc...) qu'on peut traiter par la présence de mesures de protection adaptées.

LPZ : est associé à un numéro compris entre 0 et 3. Donc LPZ1, LPZ2... plus le chiffre est élevé, plus les effets de la foudre sont atténués.

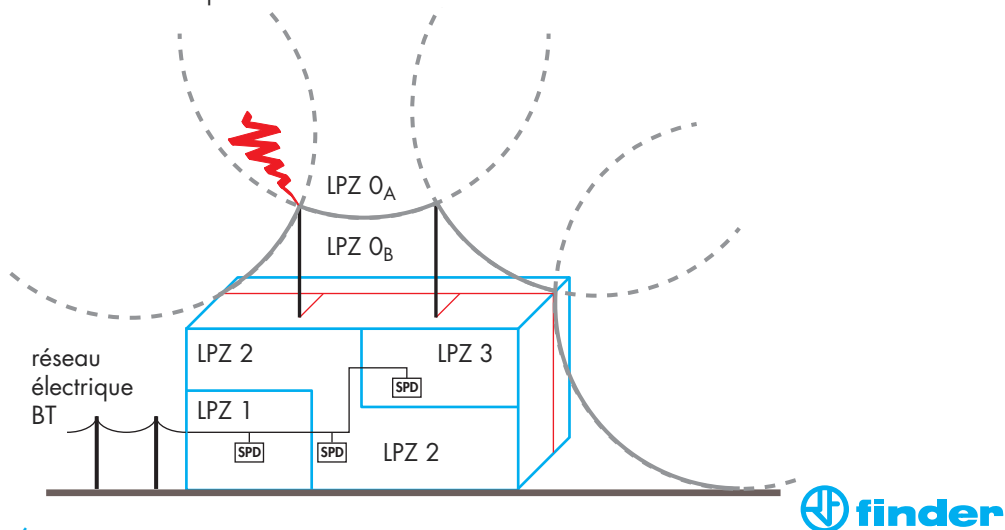
LPZ 0_A : zone libre. Il n'y a aucune protection de prévue, nous sommes en dehors de la protection d'un paratonnerre éventuel. Dans ce cas, on est exposé au foudroiement direct, donc à un courant de foudre élevé et le champ électromagnétique (ELM) n'est pas atténué.

LPZ 0_B : elle se situe au dessous du dispositif de protection. Le courant de foudre est faible, le champ électromagnétique n'est pas atténué.

LPZ 1 : on situe à l'intérieur de l'édifice, après le premier parafoudre. Le courant de foudre est limité. Le champ ELM est atténué.

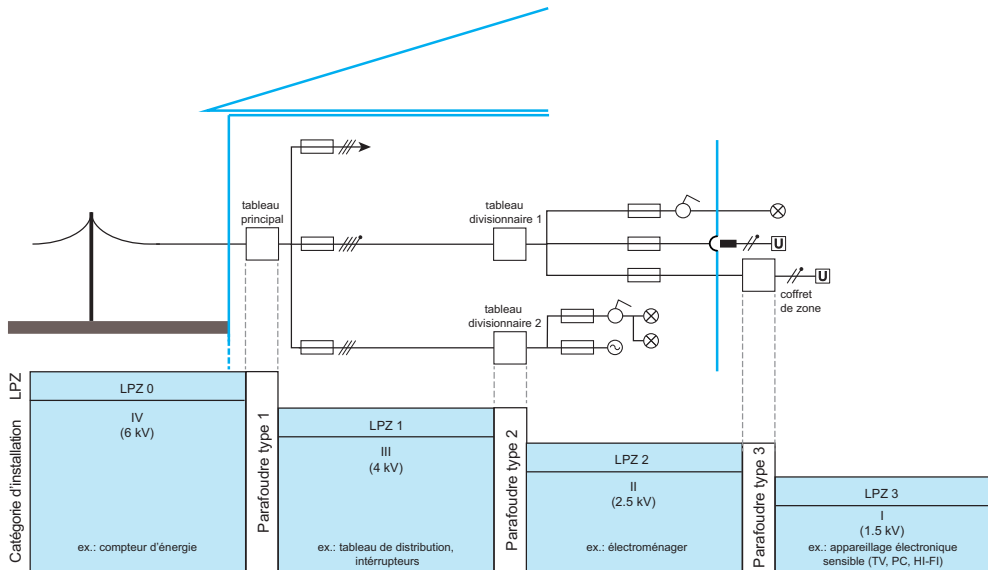
LPZ 2 : zone caractérisée par l'ajout d'un autre parafoudre. Le courant de foudre est limité, le champ ELM est très atténué.

LPZ 3 : nous ajoutons un autre parafoudre... Nous sommes en présence d'une prise de courant, ou à l'intérieur d'un dispositif électronique.



Bien qu'il n'existe aucun lien entre eux, la sous-division d'un édifice en zones, permet l'introduction du concept de "catégories d'installation". Dans ce cas, on ne parle pas d'une véritable sous-division en zones, mais il s'agit d'un moyen simple pour comprendre le concept : la sous-division se fait automatiquement dans la mesure où les dispositifs destinés aux applications "proches" du point de livraison de l'énergie doivent être garantis par le constructeur pour supporter des valeurs minimales de surtension supérieures aux dispositifs qui généralement sont installés "loin". "Proche" et "loin" sont des distances au sens électrique du terme, pas métriques.

Ce qui signifie, par exemple, que le niveau de tenue aux chocs du tableau électrique principal doit être au minimum de 4 kV, tandis que la tenue au choc d'un PC, d'une TV, etc... doit être au minimum de 1.5 kV.



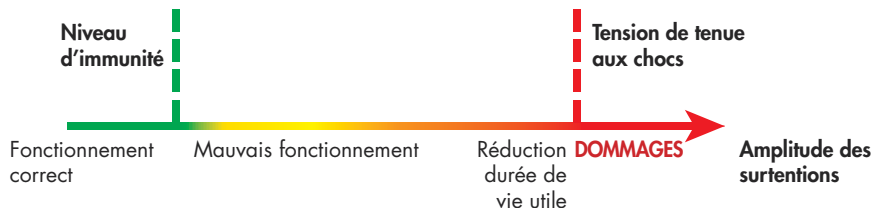
Dans le schéma précédant, les zones de protection LPZ et les catégories de surtension ont été regroupées pour résumer ce qui a été vu jusqu'à présent. Mais attention, il n'existe aucun lien entre eux!

Le lieu d'installation donne une idée de la tenue au choc de l'appareillage, LPZ donne une idée de l'ordre de grandeur électromagnétique associée à la décharge de foudre.

- **Catégorie de surtension I:** dans cette catégorie on trouve les appareils très sensibles aux chocs de tension tels que les appareils électroniques (TV, Hi-Fi, modem, PC, Automates, etc...). Pour ces dispositifs le constructeur doit garantir une tenue de tension au choc de 1.5 kV.
- **Catégorie de surtension II:** dans cette catégorie on trouve les appareils qui ont une tenue au choc de 2.5 kV comme les appareils portables ou l'électroménager.
- **Catégorie de surtension III:** relative aux appareils qui font partie de l'installation comme les interrupteurs, les prises, les tableaux électriques etc., pour lesquels la tension de tenue au choc est de 4 kV.
- **Catégorie de surtension IV:** appartient à cette catégorie, les dispositifs montés en amont du tableau de distribution, tels que les compteurs. La tension de tenue au choc est de 6 kV.

Niveau d'immunité, tension de tenue et dommages économiques

On peut conclure en disant que tous les appareils électriques et électroniques sont caractérisés par une valeur de tension qui indique le niveau d'immunité aux surtensions: lorsque la surtension est en dessous du niveau d'immunité de l'appareillage, il n'y a pas de problème. Si la surtension est légèrement supérieure, on peut rencontrer des dysfonctionnements de l'appareillage. Pour les valeurs supérieures ou répétitives, les isolements des composants seront éprouvés réduisant leur vie électrique. Avec un niveau de surtension beaucoup plus élevé, par contre, on assistera à des dommages permanents.



Souvent les surtensions peuvent être d'une nature telle qu'elles ne peuvent endommager immédiatement l'appareillage, donc elles passent inaperçues. La répétition des surtensions d'amplitude modeste, vont endommager la rigidité diélectrique des isolements, en réduire la durée de vie utile, réduisant ainsi la tenue de tension au choc du dispositif. Si la surtension est telle qu'elle dépasse la tension de tenue de l'isolement solide (stress), on va constater un affaiblissement de l'isolement et la rupture permanente du dispositif.

On peut imaginer à titre d'exemple, avoir un onduleur raccordé à une ligne, soumise à de continuelles surtensions, de valeurs telles qu'elles ne provoquent pas la rupture mais qui "stressent" les isolants.

On décide d'ajouter en parallèle un autre onduleur. Au premier orage, le plus ancien va se casser, le nouveau fonctionnera encore. Pourquoi ?

A cause des surtensions répétitives, l'isolement du premier onduleur s'est affaibli, jusqu'à permettre la mise hors service permanente de l'appareil dès qu'une surtension arrive par la ligne. Le second, plus neuf, continue de fonctionner, dans la mesure où le niveau de surtension ne sera pas assez élevé pour le mettre hors service au premier coup.

Nous concluons cette partie en considérant l'aspect économique. Derrière la rupture d'un appareil, il n'y a pas uniquement le coup de remplacement, qui souvent, constitue un dommage économique mineur par rapport au coût causé par la non utilisation du système. Si par exemple, le serveur de réservation d'une agence de voyage est endommagé on doit considérer le coût causé par l'immobilisation du système. On peut imaginer le cas d'un aéroport ! donc le parafoudre est toujours avantageux du point de vue économique.

Nous ne devons pas oublier qu'une surtension peut causer des dommages bien plus graves, tels que la mort de personne, l'incendie d'un bâtiment avec la perte d'œuvre d'art de grande valeur, ou l'arrêt d'une chaîne de montage, aspects qui ne peuvent et ne doivent être négligés lors de la phase d'étude d'une installation électrique.

Les surtensions

Les surtensions dans un système électrique peuvent être endogènes ou exogènes: les premières font référence à des surtensions de manœuvres, surtensions que l'on rencontre normalement dans les réseaux électriques et qui apparaissent lors du fonctionnement normal de l'installation. Les secondes par contre, sont des surtensions d'origine atmosphérique.

Surintensions de manœuvre

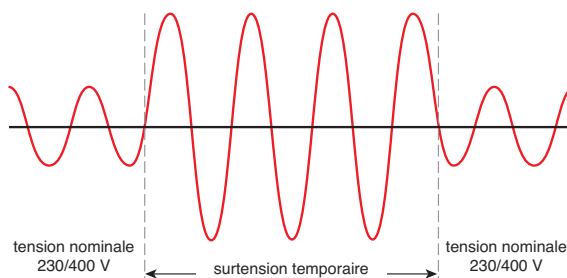
Les surintensions de manœuvre se créent au cours du fonctionnement normal de l'installation, par exemple lors de la manœuvre d'interrupteurs (ouverture et fermeture). Elles sont également causées par de brusques variations de charge (insertion de grosses charges), arrêt ou démarrage de moteurs, ou par de brusques variations sur la ligne électrique telles que les courts-circuits. La forme de ce type de surtension est une sinusoïdale amortie, transitoire très rapide dont la durée est de l'ordre de quelques μ s.

On peut également mettre dans cette catégorie les surintensions de fréquence industrielle dues à des défauts dans les équipements situés le long de la ligne.

Les surintensions industrielles se différencient des surintensions de manœuvre par leur durée, beaucoup plus importante et par leur fréquence 50-60 Hz.

Les surintensions de manœuvre sont caractérisées par des amplitudes qui varient entre 2.5 et 4 kV. Elles sont toujours présentes sur les lignes de distribution.

Figure 3:
Surtensions temporaires
de fréquence industrielle.



Surintension d'origine atmosphérique

Les surintensions d'origine atmosphérique se créent lorsqu'un coup de foudre se produit lors d'un épisode orageux. Ce coup de foudre se déclenche suite à l'accumulation de charges négatives accumulées dans le nuage et des charges positives sur terre, il s'établit alors un champ électrique supérieur à la rigidité de l'air ce qui permet la décharge. En général, suite au premier coup de foudre, on assiste à 3 ou 4 décharges successives (voir chap.1).

Les surintensions peuvent être "conduites" (couplage résistif) quand les coups de foudre frappent directement une ligne électrique ou "induites" quand les coups de foudre tombent à proximité d'un bâtiment ou d'une ligne. Le champ électrique généré par la foudre, investit les conducteurs et crée les surintensions dommageables pour les dispositifs qui y sont raccordés.

Foudroiement direct ou indirect

- de la structure
- à proximité de la structure



- de la ligne électrique
- à proximité de la ligne électrique



Surtections induites

On rappelle qu'un champ magnétique variable induit un courant dans un circuit... en présence d'un coup de foudre, nous sommes en présence un champ électromagnétique important et fortement variable. Les conducteurs électriques d'un bâtiment représentent un circuit de dimension non négligeable. Le champ électromagnétique de la foudre crée des effets désastreux s'il est lié à une spire de grand diamètre. Imaginer d'avoir à disposition une spire de grande dimension n'est pas difficile, il suffit de penser à la ligne d'alimentation d'un PC et à la ligne de téléphone qui se raccorde au modem connecté à son tour au PC. En cas de foudroiement direct de la structure, le courant de foudre sera déchargé vers la terre à travers la canalisation de descente et générera par couplage inductif dans la spire décrite précédemment, une surtension

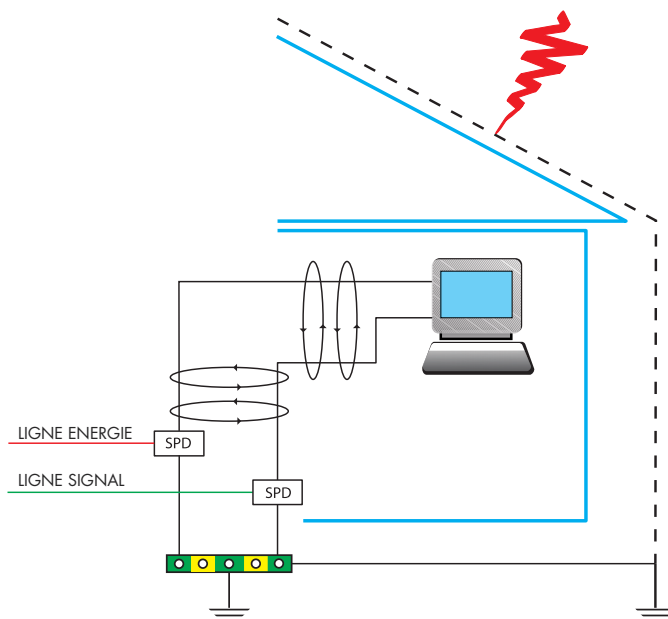
$$U = L_m \cdot di/dt$$

où

L_m : inductance de la spire

di/dt : pente de la forme d'onde

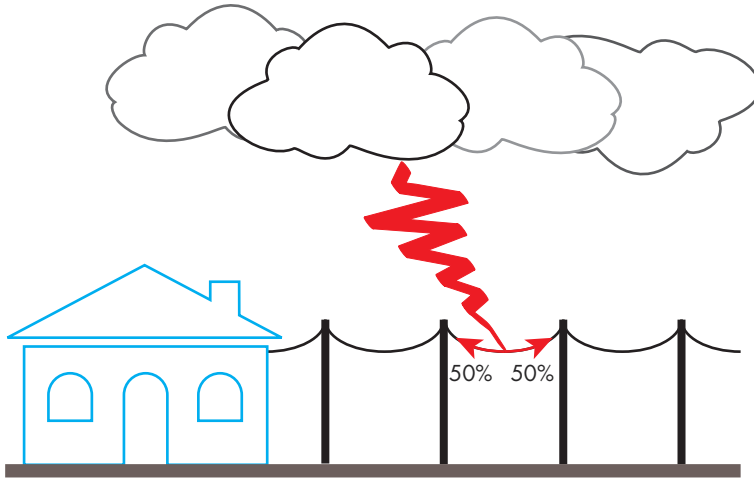
Selon le développement de la spire, le surtension peuvent dépasser les 10 kV !



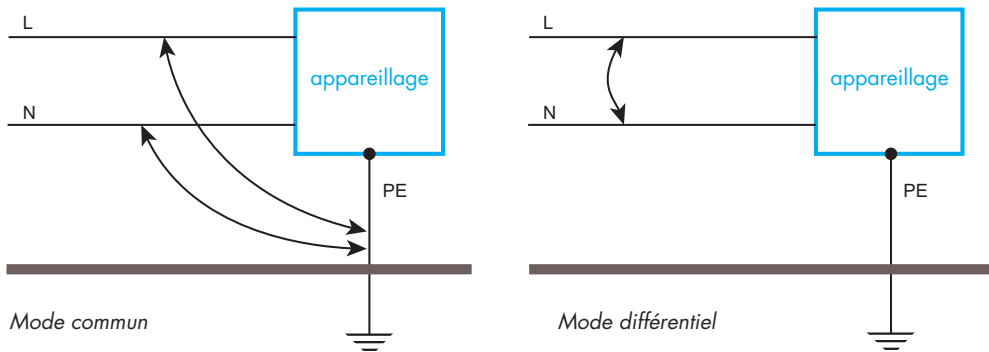
Le phénomène d'induction se rencontre aussi avec des conducteurs rectilignes, pas nécessairement disposés de manière à créer une spire, par exemple entre un conducteur et la terre. On peut imaginer une ligne électrique: si la foudre tombe à proximité d'une ligne de distribution électrique, son champ électromagnétique variable induit dans cette ligne même, des surtensions qui se propagent tout au long de la ligne, de la même manière à ce que nous verrons par la suite pour le foudroiement direct.

Foudroiement direct

Si la foudre touche une ligne électrique, le courant de foudre (et la surtension associée) se propage dans les deux sens de la ligne en se divisant à part égale. En se propageant, il se modifie en forme et en amplitude tout en investissant les systèmes qu'il rencontre.



Les surtensions peuvent être, de mode commun si on se place entre le conducteur de phase et la terre, ou de mode différentiel entre les conducteurs actifs.

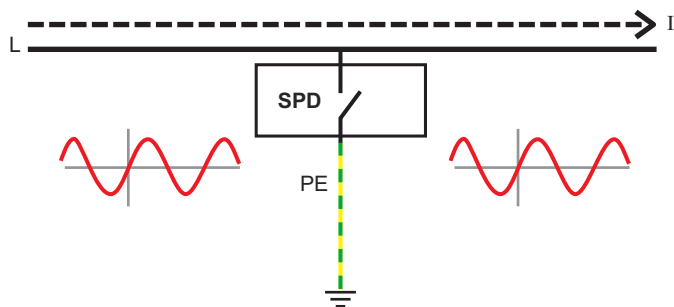


3 - Fonctionnement d'un parafoudre (SPD)

Nous utiliserons par la suite indifféremment "parafoudre" ou "SPD".

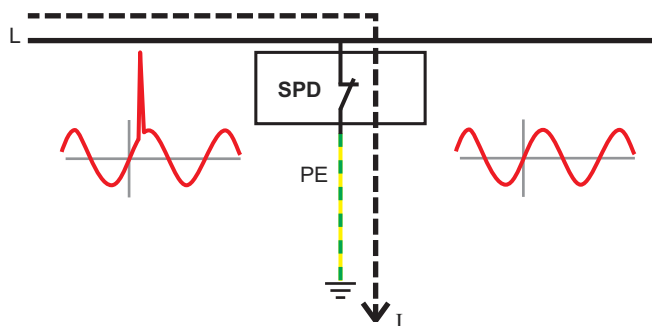
Pour comprendre le fonctionnement d'un SPD nous supposons avoir à disposition un SPD idéal dont nous allons décrire le fonctionnement. Successivement, nous comparerons le fonctionnement du parafoudre (SPD) idéal avec un parafoudre réel.

Le parafoudre idéal peut être assimilé à une petite boîte dont nous ne connaissons pas le contenu, raccordée, par exemple, entre L-PE, qui a une impédance (Z) infinie pour ne pas altérer le fonctionnement de l'installation.



L'arrivée d'une surtension fait chuter rapidement l'impédance aux bornes de la boîte à 0Ω , permettant "d'absorber" le courant associé à la surtension. Plus la surtension est élevée, plus faible est l'impédance et plus important est le courant drainé. Nous pouvons donc imaginer un interrupteur ouvert à l'intérieur de la boîte, qui, en présence d'une surtension se ferme, court-circuitant le circuit en aval, tout en le protégeant.

Le drainage du pic de courant se réalise en maintenant constante la tension aux bornes de la boîte. Si cette tension est compatible avec le niveau d'immunité et d'isolement de l'appareillage, ce dernier ne sera pas endommagé.



Nous pouvons ainsi identifier trois phases de fonctionnement du SPD, dans lesquelles les grandeurs qui entrent en jeu constituent les paramètres de choix des produits du catalogue.

1) Phase initiale. Nous supposons avoir une petite boîte installée entre un conducteur actif et la terre (mais elle peut être installée entre deux phases ou entre phase et neutre). A ses bornes on a la tension nominale du système (U_n) qui peut varier au cours du temps dans une plage de tolérance selon le distributeur d'énergie. Pour cette raison, il est prévu une tension de fonctionnement permanent U_c qui, dans la plage de tolérance, garantit la non intervention du parafoudre.

Nous anticipons à ce point, le concept de "Tension de fonctionnement permanent" U_c . Cette valeur de tension peut être appliquée au SPD pendant un temps infini, pendant lequel, le SPD n'interviendra pas.

Pour les systèmes TT et TN: $U_c \geq 1.1 U_n$

Pour les systèmes IT: $U_c \geq \sqrt{3} U_n$

Dans cette phase, le dispositif idéal a une impédance infinie, tandis qu'en réalité il a une impédance très élevée. Ceci signifie que le SPD idéal n'est pas traversé par un courant vers la terre, tandis qu'en réalité, il est continuellement traversé par un courant de fuite (il dépend des composants utilisés pour réaliser le SPD). Ce courant est nommé I_c : courant de fonctionnement permanent. Ce courant est de l'ordre du μA .

Dans cette phase nous devons considérer également la valeur U_T . ($T = TOV$ c'est à dire Temporary Transient Overvoltage) c'est à dire les surtensions temporaires présentes sur la ligne dues à la présence de défauts sur la ligne du distributeur (surtensions de manœuvre). Ces surtensions devront être acceptées par le SPD.

2) Pendant la surtension. Le SPD réduit sa propre impédance pour drainer le courant et maintenir constante la tension aux bornes.

Durant cette phase, la valeur de la tension résiduelle (U_{res}) est importante à connaître. Elle se mesure aux bornes du SPD pendant son intervention. La valeur est en liaison avec U_p : niveau de protection.

L' U_p est une valeur de tension choisie dans une échelle de valeurs normalisées immédiatement supérieures à la tension U_{res} (ex.: $U_{res} = 970 V$, $U_p = 1000 V$). Il est important que U_p soit inférieure à la tension de tenue des isolements du dispositif à protéger. Cette valeur de tension est relative au courant de décharge nominal, qui pour le type d'essai, a une forme d'onde 8/20 μs .

Dans cette phase, la donnée relative au courant de décharge I_n est importante.

I_n : valeur du courant de décharge que le parafoudre est en mesure de supporter normalement. Il sera défini lors de l'essai du SPD avec la forme d'onde de courant 8/20 μs .

Une autre donnée importante est la valeur I_{max} qui correspond à la valeur du pic de courant maximum que le SPD peut accepter au moins une fois sans être endommagé.

En général on admet la relation: $I_{max} / I_n = 2$

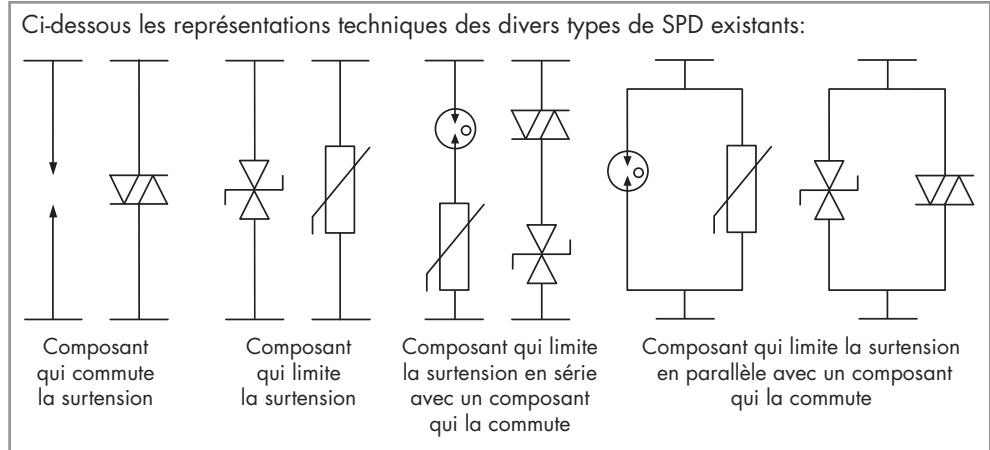
3) Phase d'extinction du phénomène. Le parafoudre a terminé son intervention, il est traversé par un courant en 50 Hz au travers du circuit dans lequel il est inséré: c'est le courant de suite. Il peut arriver que le SPD ne soit pas en mesure de s'ouvrir (caractéristique typique des parafoudre à amorçage). La norme a défini la valeur I_{sx} qui représente le courant maximum que le dispositif est en mesure de supporter et d'éteindre par lui-même au premier passage par zéro de la demi-onde. Cette valeur du courant est typique des éclateurs que nous trouvons généralement dans les applications pour le raccordement N-PE. Elle doit être supérieure ou égale à 100 A. I_{sx} est un courant que le SPD est en mesure de gérer et d'éteindre de manière autonome. Si le courant de court circuit de l'installation dans laquelle est inséré le parafoudre est supérieur à I_{sx} , le SPD doit être protégé par l'utilisation d'un dispositif adapté (par exemple fusibles) pour garantir l'extinction de l'arc.

Si $I_{cc} < I_{sx}$, nous pourrions ne pas protéger le parafoudre, mais étant donné qu'on ne peut connaître la durée de I_{sx} avec exactitude, le différentiel pourrait intervenir et déconnecter toute l'installation. Il convient donc d'utiliser toujours un fusible de protection.

Types de parafoudre

Il existe trois familles de parafoudre:

- A commutation ou à amorçage. Dans ce cas, l'élément principal est l'éclateur.
Il existe aussi des thyristors.
- A limitation. C'est la technologie la plus utilisée: varistor ou diode de Zéner (ou tranzorb).
- De type combiné. On l'obtient par le raccordement en série ou en parallèle des deux premiers.



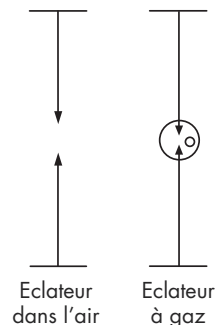
Si on néglige les technologies "au silicium" tranzorb, Triac, etc... les SPD pour les lignes d'énergie sont réalisés en raccordant opportunément des varistors et des éclateurs. Nous allons analyser ces deux composants pour comprendre leur fonctionnement et donc comprendre les caractéristiques des SPD réalisés avec ces composants.

L'éclateur

L'éclateur est un dispositif qui, dans sa configuration la plus simple, est réalisé avec deux électrodes séparées par une distance adéquate dans l'air.

La présence d'une surtension entre deux électrodes, amorce un arc électrique.

La valeur de la tension d'amorçage dépend, en plus de la distance entre les électrodes, des conditions ambiantes: température, pression et pollution de l'air. Ceci signifie que la tension d'amorçage de l'arc est fortement conditionnée, à part égale de la distance, par trois autres variables.

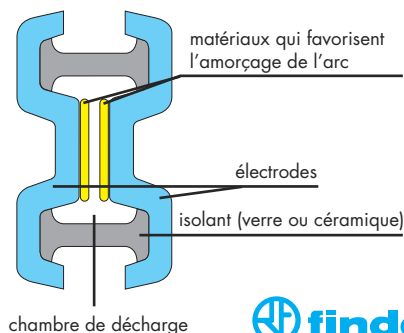


L'éclateur utilisé dans les parafoudres est dit "à gaz" quand les électrodes sont contenues dans une ampoule fermée, contenant un gaz rare, type argon ou néon, qui maintient la tension d'amorçage à des valeurs constantes. Généralement, les éclateurs à gaz ayant cette caractéristique constructive, sont appelés "GTD": Gas Discharge Tube.

Représentation d'un GTD.

Les parafoudres à gaz sont caractérisés par:

- Des petites dimensions
- Une capacité de décharge élevée
- Un temps d'intervention élevé et à haute répétitivité (le temps qui s'écoule entre l'extinction et le rallumage du dispositif peut être très bref et cette opération peut être répétée de nombreuses fois)
- Une durée de vie particulièrement longue



Principe de fonctionnement

Un éclateur à gaz, ou GTD, peut être décrit comme une résistance variable qui en 100 ns modifie sa valeur en passant de quelques $G\Omega$, à l'état de repos, à une valeur inférieure à l'Ohm pendant la surtension.

Le parafoudre retourne à son état initial de haute impédance lorsque la surtension est passée. En se reportant à la *Figure 4a*, on peut noter que la tension aux bornes de l'éclateur augmente jusqu'à la tension V_1 pour passer ensuite à la tension d'amorçage, qui correspond à la valeur V_2 . A cette valeur, typiquement comprise entre 70 et 200 V, on note l'allumage du GTD, le courant peut varier de 10 mA à environ 1.5 A. Ce phénomène, de durée A, se termine par la création de l'arc, de durée B auquel correspond une augmentation du courant, et à une tension très basse, égale à la tension de l'arc, variable entre 10 et 35 V.

Avec la chute de la surtension, on a une réduction du courant qui s'écoule à travers du parafoudre jusqu'à la valeur nécessaire pour maintenir l'arc actif.

En correspondance avec l'extinction du courant qui s'écoule dans l'éclateur, on a une augmentation de la tension aux bornes, égale à la tension d'extinction V_4 .

La *Figure 4a* montre le développement de la tension durant la phase de décharge du GTD, la *Figure 4b* montre le développement du courant en fonction du temps, quand le GTD limite une tension de type sinusoïdale, tandis que la *Figure 4c* est obtenue en combinant les graphiques de tension et de courant en fonction du temps.

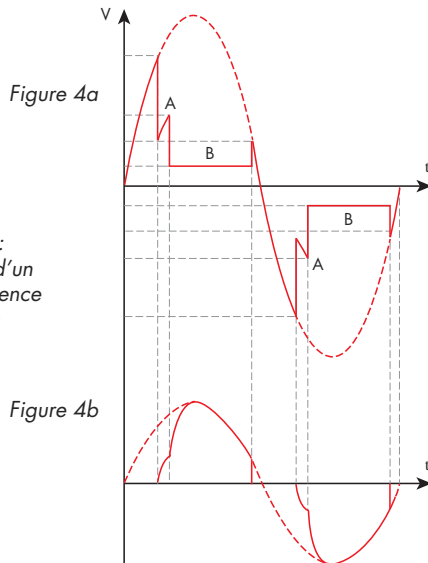
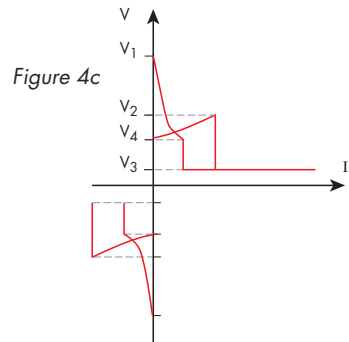


Figure 4a - b - c :
Comportement d'un
éclateur en présence
d'une surtension



- V_1 Tension de décharge
- V_2 Tension d'amorçage
- V_3 Tension d'arc
- V_4 Tension d'extinction
- A Mode amorçage
- B Mode arc

Pour comprendre pourquoi les éclateurs sont définis comme dispositifs à "commutation" et comprendre les différences de fonctionnement par rapport aux varistors, nous avons simplifié la Figure 4a par la Figure 5, dans laquelle on distingue 3 phases:

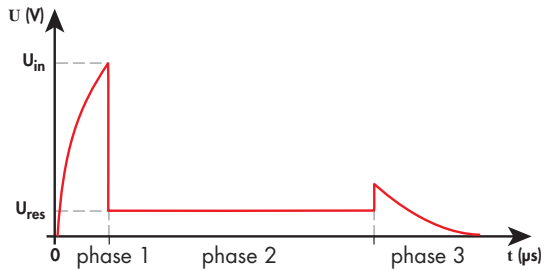


Figure 5: fonctionnement simplifié d'un GTD.

Phase 1: la décharge n'est pas encore amorcée (circuit ouvert)

Phase 2: la décharge se produit, le courant passe à travers le parafoudre. A la tension d'amorçage (U_{in}), auquel correspond le niveau de protection U_p du parafoudre, la tension aux bornes du SPD chute à U_{res} qui coïncide avec la tension d'arc.

L'appareillage protégé par un parafoudre à commutation sera exposé à une surtension qui correspond à U_{in} .

Phase 3: extinction de l'arc.

Ci-contre, on peut observer la forme d'onde réelle, mesurée aux bornes d'un GTD durant plusieurs tests faits en laboratoire.

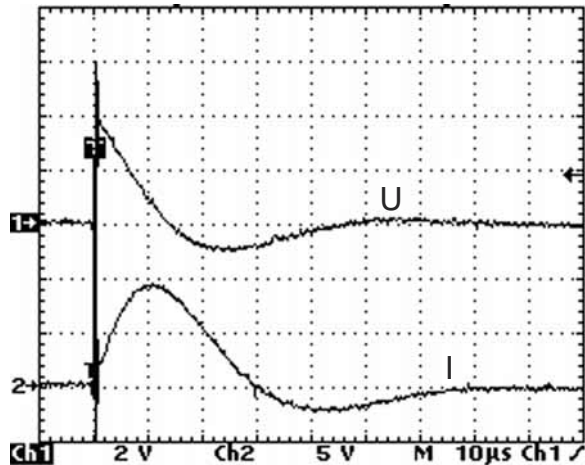


Figure 6: intervention d'un GTD.

Développement de la tension (courbe en haut) et du courant (courbe en bas), relevé durant l'intervention du GTD, obtenue avec un générateur de type combiné dans les laboratoires de Finder. Dans ce cas, la valeur maximale de la tension est d'environ 3600 V, tandis que celle du courant est d'environ 3000 A.

Courant de suite

Comme nous l'avons déjà vu, la tension aux bornes du GTD pendant son intervention est très basse et correspond à la tension d'arc tandis que la valeur du courant est très élevée.

Pendant la décharge, la tension aux bornes du GTD (U_{res}) atteint des valeurs très basses, avec le risque que la tension du réseau, supérieure à U_{res} maintienne le dispositif allumé rendant difficile voir impossible, l'extinction de l'arc. L'arc, en fait, peut persister après que la surtension ait cessé, parce que, alimenté par la tension du réseau, et le courant vers la terre (défini comme courant de suite), il peut durer quelque temps. Le courant de suite correspond au courant de court circuit de l'installation au point où se trouve le parafoudre, au moment de la réduction de tension provoquée par la présence de l'arc.

Les SPD raccordés entre neutre et terre dans les systèmes TT ou TN doivent permettre après leur intervention, d'éteindre un courant de suite à fréquence industrielle, supérieur ou égal à 100 A. Pour les valeurs de courant de court-circuit élevées au point d'installation du SPD, on doit mettre en place des protections pour le courant maximum qui interviennent quand l'arc ne s'éteint pas spontanément, ou utiliser des SPD avec un raccordement interne de type série entre varistor et GTD (voir page 22, exemple SPD: 7P.01.8.260.1025).

Le varistor

Les varistors sont des composants utilisés pour la protection contre les surtensions. Ils sont réalisés avec un mélange de céramique et de particules d'oxyde de zinc (MOV) ou d'oxyde de magnésium fritté.

Ils peuvent être considérés comme une résistance qui change de valeur en fonction de la tension appliquée à ses bornes. A l'augmentation de la tension, le résistance diminue.

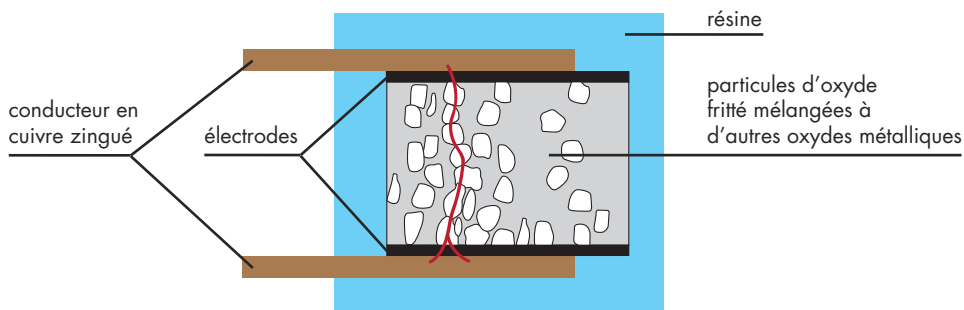
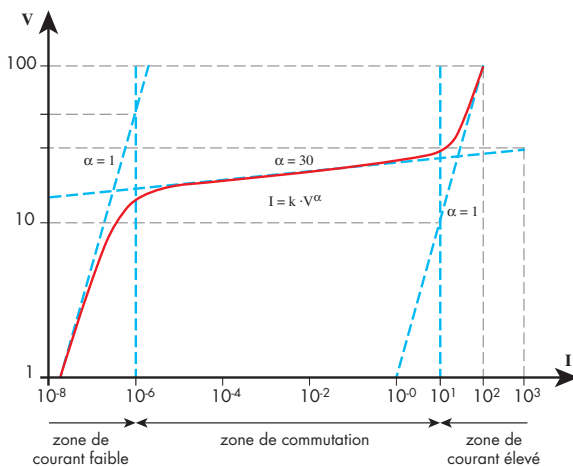


Figure 7: caractéristique tension-courant qui caractérise le fonctionnement des varistors.



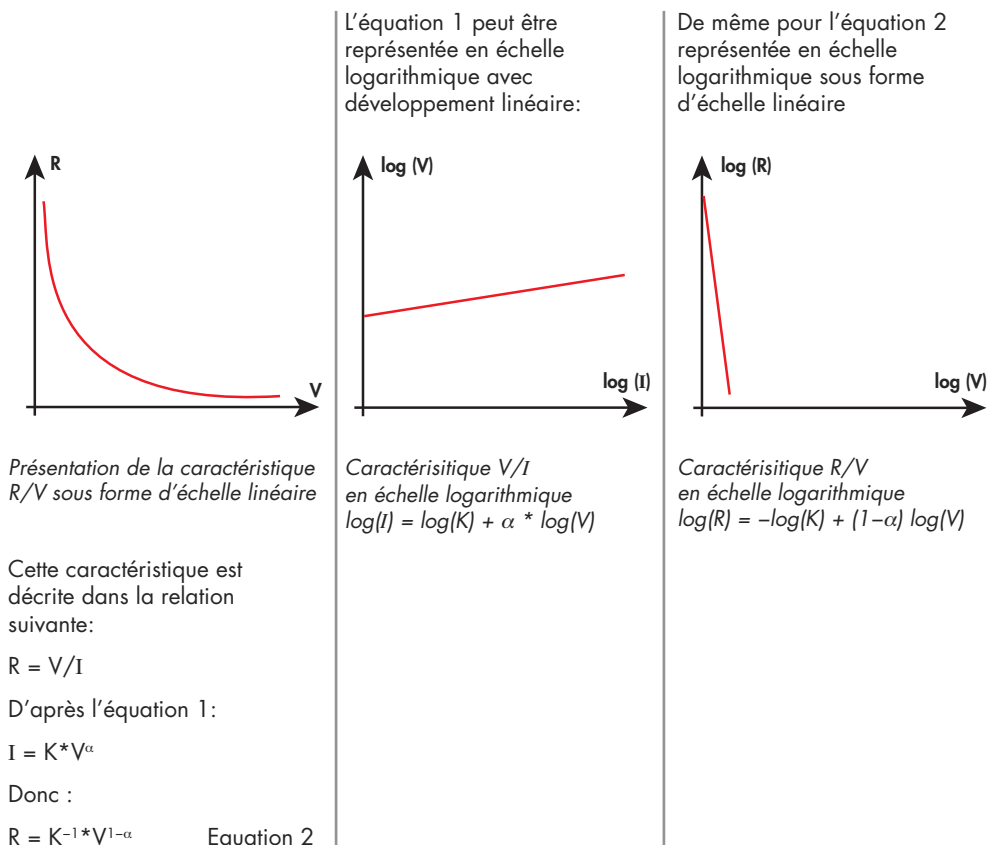
Les varistors sont réalisés avec des particules métalliques, et donc, lorsqu'ils sont exposés à une tension, ils sont toujours traversés par un petit courant de fuite. Pour cette raison, on dit que les varistors sont "ON" et qu'ils "travaillent" souvent, même avec de petites variations de tension. Avec le temps, les particules métalliques se soudent entre elles, créant de nouveaux parcours pour le courant de fuite I_c , qui, en augmentant de valeur, chauffe le varistor jusqu'à la rupture. En conditions ordinaires de fonctionnement, avec peu d'intervention de protection du varistor, l'augmentation de I_c intervient après plusieurs d'années de fonctionnement.

Toujours en se reportant à la *Figure 7*, la caractéristique V/I des varistors est définie par une fonction exponentielle selon la formule suivante:

$$I = K \cdot V^\alpha \quad (\alpha > 1)$$

Equation 1 où: I = courant qui circule dans le varistor
 V = tension appliquée au varistor
 K = constante de l'élément
 (fonction de la géométrie)
 α = coefficient exponentiel de non linéarité

Nous pouvons représenter l'évolution de la résistance du varistor en fonction de la tension et en particulier de son changement rapide à partir d'une valeur préétablie.



Les SPD réalisés avec des varistors sont dits "à limitation" car ils présentent la caractéristique de maintenir la tension constante aux bornes durant l'absorption de la surtension, caractéristique typique des varistors.

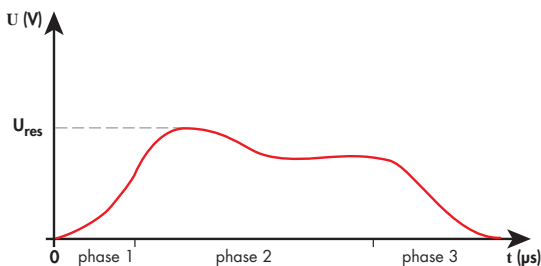
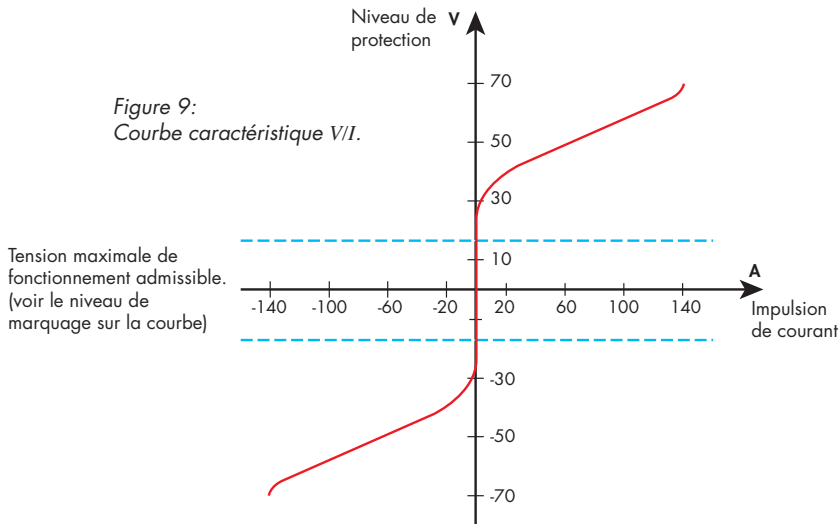


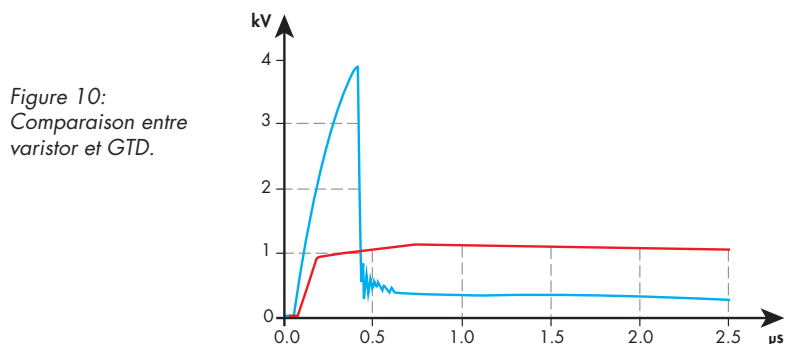
Figure 8: Comportement d'un varistor en présence d'une surtension.

En comparant la *Figure 8* avec la *Figure 5*, on note différents comportements de fonctionnement par rapport à un éclateur. *Figure 5* on note un fonctionnement "ON-OFF", c'est à dire qu'à une tension donnée U_{in} , le GTD intervient et la coupe brusquement. Sur la *Figure 8*, par contre, on constate une limitation progressive dans la mesure où le varistor fait varier sa propre résistance proportionnellement à la tension à ses bornes. La tension aux bornes reste constante bien que le courant augmente et le passage en phase de conduction se fait en quelques ns.

La *Figure 9* montre l'évolution de la tension résiduelle aux bornes du varistor en fonction du courant qui le traverse. La tension résiduelle aux bornes du varistor dépend de la forme et de l'épaisseur de la pastille du varistor, qui opportunément dimensionnée, permet d'utiliser le SPD pour diverses prestations et applications.



Les images suivantes montrent une comparaison des composants à commutation et à limitation relevée lors de tests en laboratoire: en bleu le GTD, en rouge le varistor. On note que le varistor commence à travailler en basse tension, raison pour laquelle il est monté entre phase et neutre.



4 - Données d'identification et applications pratiques des SPD

Afin de permettre de choisir le type de SPD à installer pour une installation, il faut connaître les données d'identification qui le caractérisent.

Tension nominale [U_n]: tension nominale d'alimentation du système (ex; 230V). Bien que celle-ci ne soit pas une donnée d'identification d'un SPD, il est important de connaître la valeur de la tension nominale du système à protéger et d'être sûr que $U_n < U_c$.

Tension maximale de régime permanent [U_c]: c'est la valeur de tension au-dessous de laquelle on est certain que le parafoudre n'intervient pas. Elle doit être égale au moins à 110 % de la tension nominale de l'installation (U_n). Par exemple, les SPD Finder de Classe II ont un U_c égale à 275 V (250 V + 10 %).

Ce paramètre constitue le premier critère de choix du parafoudre. Il est lié à la tension nominale du réseau comme indiqué dans le tableau ci-dessous (CEI 64-8/2) qui indique la valeur minimale de U_c , en fonction du système de raccordement du neutre.

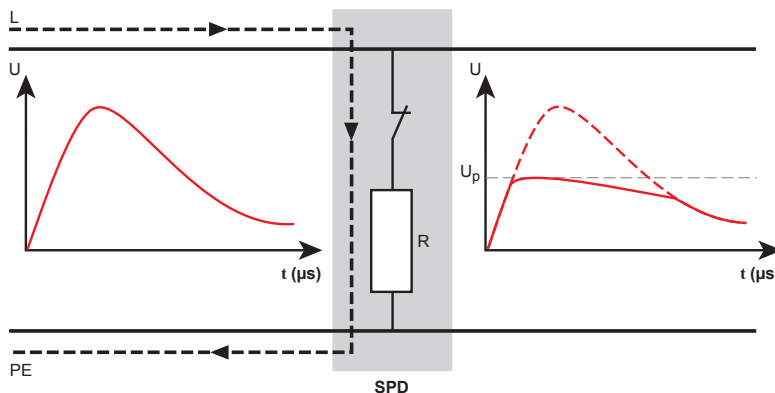
SPD raccordé entre:	Système de distribution			
	TN	TT	IT avec neutre	IT sans neutre
Chaque conducteur de phase et neutre	1.1 U_0	1.1 U_0	1.1 U_0	NA
Chaque conducteur de phase et PE	1.1 U_0	1.1 U_0	U	U
Neutre et PE	U_0^*	U_0^*	U_0^*	NA
Chaque conducteur de phase et PEN	1.1 U_0	NA	NA	NA
Conducteurs de phase	1.1 U	1.1 U	1.1 U	1.1 U

NA - non applicable
 U_0 - Tension phase-neutre du système en basse tension
 U - Tension Phase-Phase du système en basse tension
 * - ces conditions concernent les valeurs de défaut les plus sévères, donc la valeur de tolérance de 10% n'est pas prise en considération.

Niveau de protection en tension [U_p]: représente la valeur maximale de la tension qui est maintenue aux bornes du SPD pendant son intervention. Si un SPD a une valeur de $U_p < 1.2$ kV, cela signifie par exemple, qu'une surtension de 20 kV sera limitée par le parafoudre à une valeur maximale de 1.2 kV. Pour des valeurs inférieures l' U_p sera inférieure.

Les valeurs associées à U_p permettent d'estimer la qualité d'un SPD et des composants utilisés pour sa construction. Plus la valeur de U_p est basse, meilleure est la qualité du SPD.

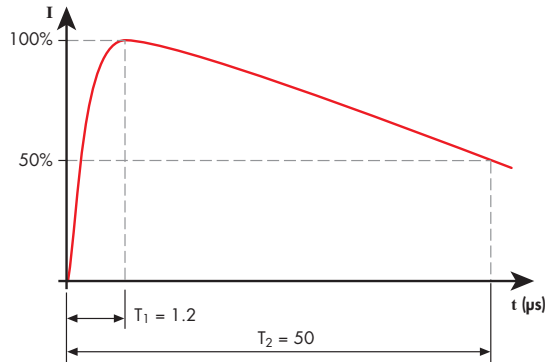
Pour mieux comprendre cet élément, en se référant à la notion du SPD-interrupteur, on peut schématiser le SPD comme un interrupteur en série avec une résistance. Au passage du courant dans celle-ci, selon la loi d'Ohm, on aura une tension qui correspondra à U_p .



Tension à vide $[U_{oc}]$: Ce paramètre est une caractéristique des SPD de Classe III et correspond à la valeur de pic de la tension à vide du générateur d'essai de type combiné ayant une forme d'onde 1.2/50 μs (Figure 11) et capable en même temps de fournir un courant de forme d'onde 8/20 μs (Figure 12).

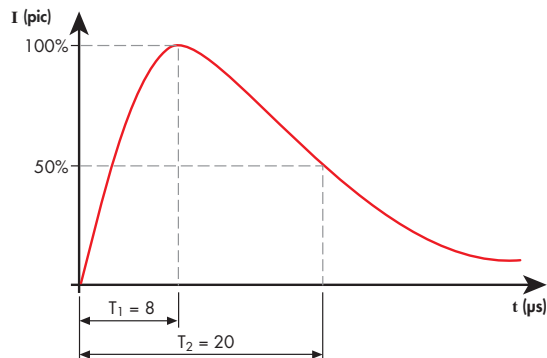
Le générateur d'essai combiné sera utilisé pour classer les performances des SPD de Classe III.

Figure 11:
Forme d'onde de tension 1.2/50 μs .



Courant nominal de décharge $[I_n 8/20]$: représente la valeur du pic de courant qui circule dans le parafoudre lorsqu'il intervient, avec une forme d'onde 8/20 μs . Les normes de la série EN 62305 prescrivent cette forme d'onde pour simuler les courants induits par la foudre sur les lignes électriques. C'est également la caractéristique de l'essai effectué pour les SPD de Classe II.

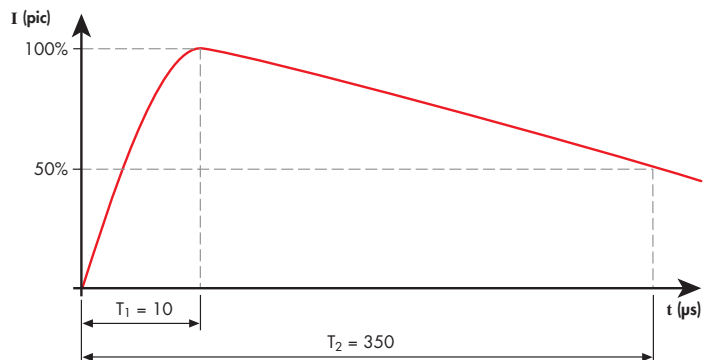
Figure 12:
Forme d'onde de courant 8/20 μs
 $T_1 = 8 \mu s$ représente le temps nécessaire pour passer de 10 à 90% du front de montée.
 $T_2 = 20 \mu s$ représente le temps nécessaire pour passer à 50% de la valeur du front de descente.



Courant maximum de décharge $[I_{max} 8/20]$: valeur de pic de courant maximum de forme d'onde 8/20 μs que le SPD peut supporter au moins une fois sans être détérioré.

Courant de choc $[I_{imp} 10/350]$: il correspond à la valeur du courant de choc de forme 10/350 μs avec laquelle le SPD de Classe I est testé. Cette forme d'onde sera utilisée pour simuler le premier coup de foudre.

Figure 13:
Forme d'onde de courant 10/350 μs .



Fusible de protection: pour aborder en détail ce point, on se reportera au paragraphe dédié page 32: (*système de sauvegarde: fusibles, interrupteurs magnétothermiques ou différentiels magnétothermiques*). Nous indiquerons simplement dans un premier temps, que selon le calibre déterminé pour ces composants, **on a une information sur la qualité du SPD**. Plus la valeur du calibre est élevée, plus la qualité du varistor utilisé est importante car cette valeur détermine sa capacité à gérer et à dissiper l'énergie de manière autonome. Ceci se traduit évidemment par une augmentation de la vie du produit.

Disjoncteur thermique

Le disjoncteur thermique a pour but de déconnecter le SPD du réseau électrique lorsque la fin de vie est atteinte. Il intervient quand le courant de fuite, caractéristique des varistors, a une valeur trop élevée suite au vieillissement du composant, ou suite à une surtension excessive. L'action du disjoncteur thermique est signalée par une fenêtre située en façade de l'appareil et qui va changer de couleur, passant en général d'une couleur verte (dispositif OK) à une couleur rouge (dispositif HS). En même temps, il peut activer un contact inverseur pour signaler à distance son état en commandant par exemple un signal lumineux ou sonore.

Le dispositif de protection thermique peut intervenir également pour signaler que le SPD n'est plus en mesure de protéger le système suite à une décharge élevée de courant de foudre, supérieure à I_n .

Surge Protective Device... ou plus communément: SPD

Nous avons vu que selon le mode de construction, les SPD peuvent être classifiés "à limitation" ou "à commutation" ou "combiné".

Nous reportons de manière schématique les caractéristiques des SPD à limitation et à commutation vues en détail précédemment. Nous allons développer plus en détail l'analyse des SPD de type combiné:

SPD à amorçage, à commutation

Avantages:

- Dimensions et courants de décharge importants
- Fiabilité
- Isolement galvanique

Inconvénients:

- Tension d'amorçage élevée (valeur U_p élevée)
- Courants de suite

SPD à limitation

Avantages:

- Temps d'intervention réduit (25 ns)
- Précision dans la répétitivité des interventions
- Niveau de protection important (U_p bas)
- Absence de courant de suite

Inconvénients:

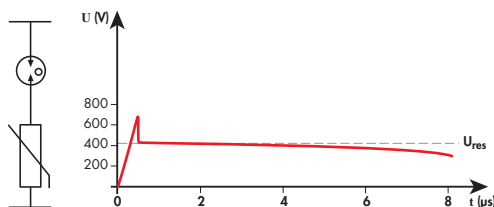
- L'isolement galvanique n'est pas garanti
- On peut donc avoir des courants de fuite non nuls
- Capacité de décharge réduite

SPD de type combiné

Selon le type de raccordement série ou parallèle, sera sollicité en premier et respectivement l'éclateur (GTD) ou le varistor.

Raccordement en série:

Le varistor et le GTD sont en série
Tension résiduelle importante
Courant de suite nul.



Dans le raccordement en série l'éclateur sera sollicité en premier: on atteint la tension d'amorçage, l'arc se déclenche et la tension résiduelle, qui auparavant s'écroulait au niveau de la tension d'arc, reste à une valeur plus importante. Ceci grâce au varistor en série, qui en imposant sa tension résiduelle (beaucoup plus élevée que la tension d'arc), aide l'éclateur à éteindre l'arc et annule le courant de suite.

Avantage:

- Isolement galvanique garanti: absence de courant de fuite
- Pas de courant de suite grâce à une tension résiduelle élevée

Inconvénients:

- Niveau de protection de valeur élevée. (U_p élevé pour des tensions d'amorçage importantes)
- Capacité de décharge réduite
- Tolérance d'amorçage large (plus importante que les varistors)

Approfondissement

Ce type de SPD est caractérisé par la présence de 2 composants raccordés en série caractérisés par deux niveaux de protections très différents l'un de l'autre: à quelle valeur de surtension veut on protéger l'appareillage?

Le constructeur du SPD fournit un dispositif dont il déclare seulement U_p qui selon la technologie peut correspondre avec:

- a) $U_p = U_{in}$ (tension d'amorçage du GTD)
- b) $U_p = U_{res}$ (tension résiduelle du varistor)

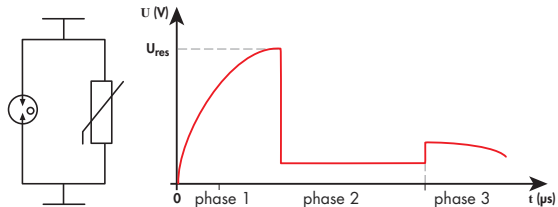
On se souvient qu'il est important de connaître la valeur de U_p qui sera, à égalité de valeur du courant de décharge, d'autant plus bas que le composant est de bonne qualité.

Dans ce type de raccordement, le courant de régime permanent est nul ($I_c = 0$), ainsi le varistor aura une vie beaucoup plus importante car il n'est pas toujours "ON".

Défauts: dans ce cas, le GTD est piloté par le varistor qui est moins performant en termes d'énergie dissipée, parce qu'il dissipe sur sa propre impédance. La capacité de décharge pourrait ne pas être très importante. Toutefois, avec les technologies actuelles, il est possible d'avoir des courants de décharge élevés, liés à une vie importante du varistor et des courants de fuite nuls.

Raccordement en parallèle:

Varistor et GTD sont en parallèle, tension résiduelle basse, faible niveau de protection.



Au contraire du cas précédent, dans cette configuration, le varistor intervient en premier parce qu'il est caractérisé par un temps d'intervention plus court que celui des GTD, en moyenne 20 ns. Le constructeur fait en sorte que l'augmentation de la tension aux bornes du varistor détermine l'amorçage du GTD qui en by-passant le varistor le protège et permet des courants de décharge importants.

Avantages:

- Temps d'intervention réduit
- Courant de décharge important
- Niveau de protection U_p performant
- Précision d'intervention

Inconvénients:

- Courant de suite non nul: (U_{res} important)
- Courant de fuite non nul

5 - Technique d'installation

Après avoir terminé l'étude des caractéristiques de construction et de fonctionnement des SPD, nous allons analyser la méthode d'installation qui a un rôle important dans la protection de l'appareillage.

Une installation mal faite rend inutile la présence de parafoudre dans une installation.

Nous allons voir comment et à quel endroit raccorder un SPD, en introduisant le concept de **niveau de protection effectif $U_{p/f}$** . Le niveau de protection effectif considère, en plus de la valeur U_p , la chute de tension aux bornes des conducteurs de connexion du SPD.

Nous pouvons noter que l'inductance parasite des conducteurs joue un rôle fondamental, particulièrement si la forme d'onde de tension est caractérisée par une pente très importante.

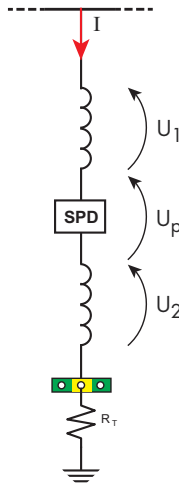
La pente d'onde étant notée, on peut calculer exactement la valeur ΔU :

$$\Delta U = L \cdot di/dt$$

où

L: inductance du câble

di/dt: dérivée du courant



On note la relation:

$$U_{p/f} = U_p + U_1 + U_2$$

$$\text{On pose: } \Delta U = U_1 + U_2$$

Donc:

$$U_{p/f} = U_p + \Delta U$$

la norme EN 62305 donne $\Delta U = 1 \text{ kV/m}$ pour le SPD de Classe I, cette valeur est transposable aux SPD Classe II et III.

On déduit donc, que réaliser des raccordements très longs soit vers le SPD, soit vers l'appareillage à protéger, est à l'origine de valeurs de tension que nous ne pouvons pas connaître, et qui vont s'ajouter à la valeur de U_p du parafoudre, altérant ou annulant sa capacité de protection. La formule pour calculer la protection effective indiquée ci-dessus est valable pour les SPD qui utilisent le varistor. Dans ce cas, la chute de tension se vérifie en même temps que U_p .

Si la chute de tension ne se vérifie pas en même temps, comme c'est le cas par les éclateurs, nous devons choisir la valeur supérieure entre ΔU et U_p . Dans ce cas, la chute induite par les raccordements se vérifie seulement après l'amorçage de l'éclateur, donc elle ne s'ajoute pas à U_p .

Dans les SPD combinés série, réalisés avec varistor + éclateur, l' U_p totale est donnée par la valeur la plus grande entre U_{pGDT} et U_{pVAR} . Si le SPD est réalisé avec 2 varistors en série, U_p totale est égal à la somme des U_p des varistors.

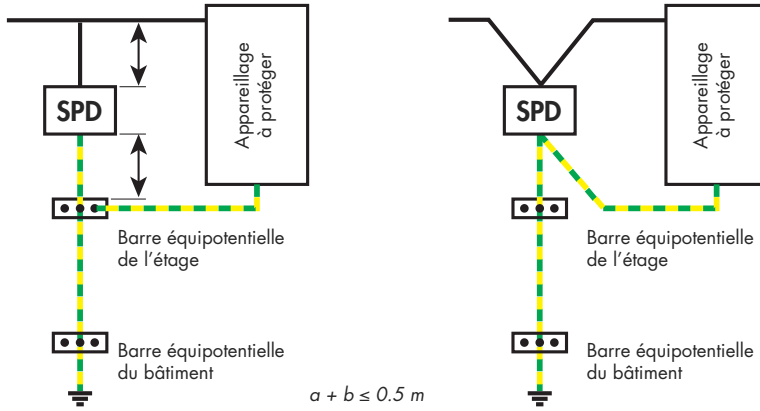
Pour garantir la protection offerte par les SPD, il faut suivre au cours de l'installation, une série de règles reportées ci-dessous.

L'appareillage à protéger doit être raccordé à la barre équipotentielle de terre à laquelle est raccordé le SPD et non à une barre quelconque présente dans le bâtiment "parce que toutes sont raccordées à la terre" *Figure 16*. De plus, la longueur des câbles avant et après le SPD, ne devra pas dépasser 50 cms.

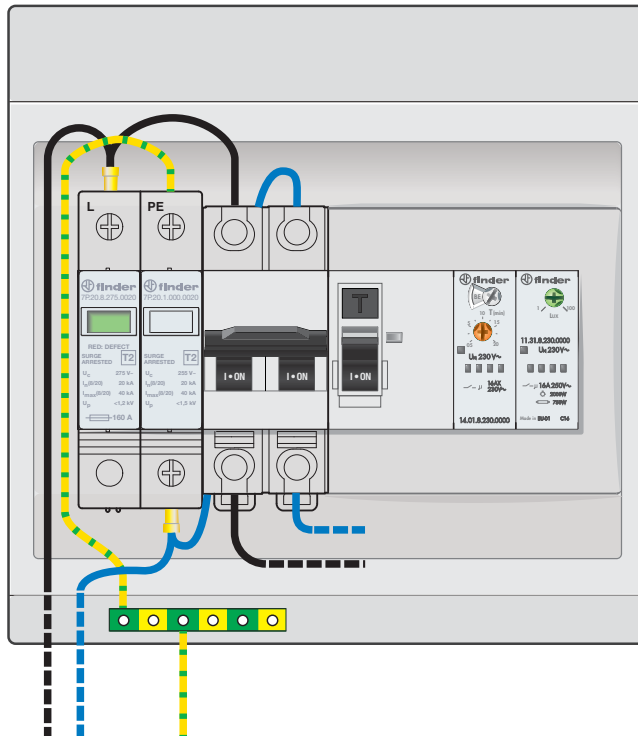
Ceci est vrai pour les SPD de type 1 lorsqu'ils sont concernés par I_{imp} (10/350 μ s).

Dans le cas où la longueur des raccordements dépasse 50 cms on doit raccorder l'entrée-sortie toujours de façon à rendre négligeable ΔU . Pour le raccordement Entrée-sortie, les câbles entre l'entrée et la sortie devront être distants le plus possible.

Raccordement entrée-sortie



Installation correcte



Plusieurs techniques permettent d'améliorer le niveau de protection en réduisant l'inductance entre les conducteurs. On peut par exemple torsader les conducteurs (Figure 14), ou utiliser des câbles blindés (Figure 15). Le raccordement idéal reste évidemment le raccordement entrée-sortie bornes du parafoudre.

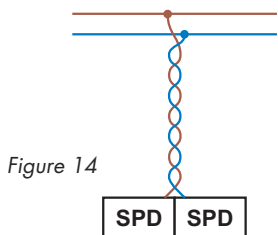


Figure 14

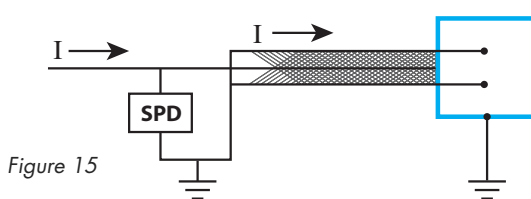


Figure 15

Dans les pages suivantes, nous montrons quelques exemples de raccordement erronés. L'erreur la plus commune consiste à utiliser des longueurs de câble importante pour l'alimentation et la sortie du parafoudre.

Ci-contre est représenté un raccordement du SPD à une barre équipotentielle quelconque. Dans ce cas, on prend en compte la distance entre la barre équipotentielle à laquelle est raccordé l'appareillage à protéger et la barre équipotentielle à laquelle est raccordé le SPD.

Dans ce cas, ΔU comprend la somme des 3 longueurs de câble, et $U_{p/f}$ atteint une valeur très élevée.

Figure 16:
Raccordement erroné à une barre équipotentielle quelconque.

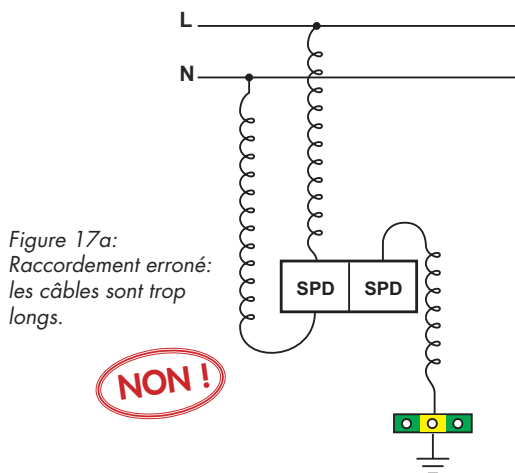
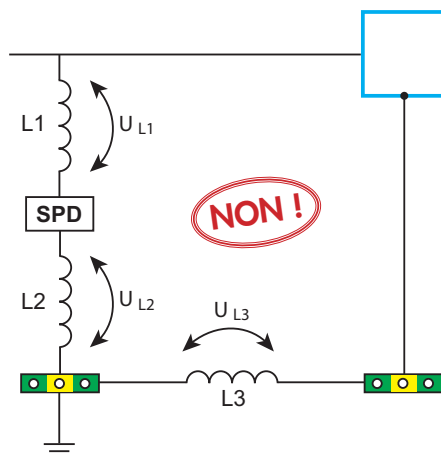


Figure 17a:
Raccordement erroné:
les câbles sont trop
longs.

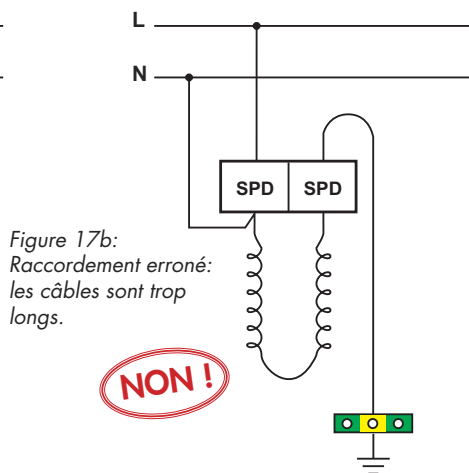
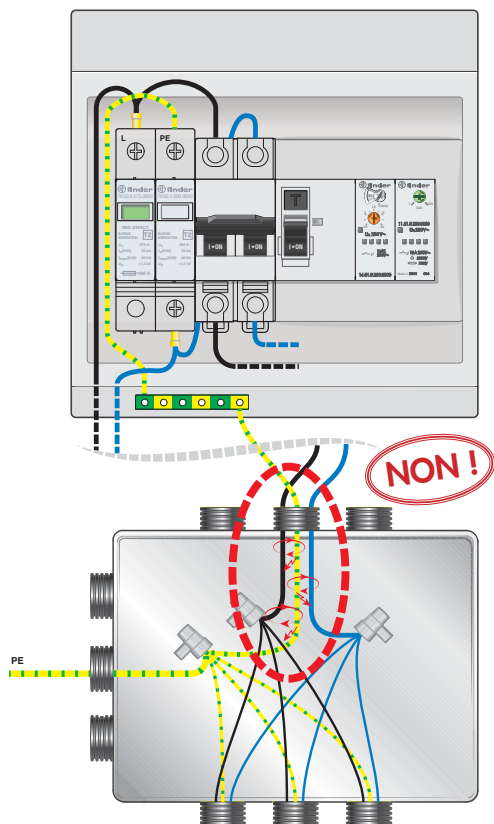


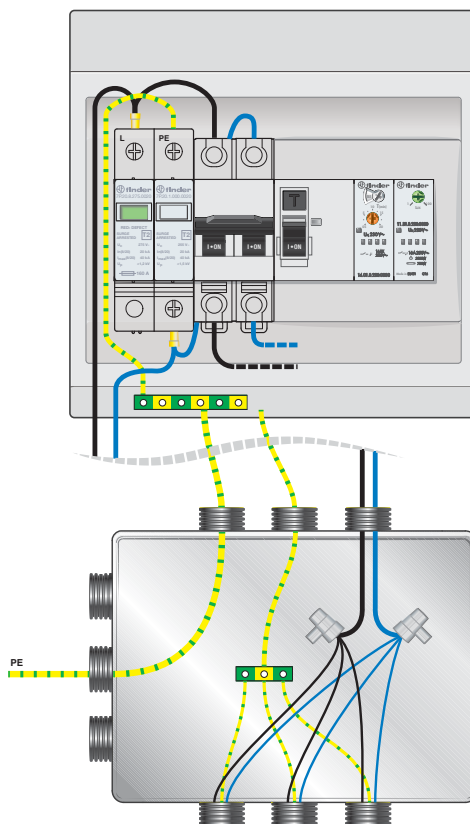
Figure 17b:
Raccordement erroné:
les câbles sont trop
longs.

Figure 18: Installation erronée.
Le conducteur de terre est mélangé avec les conducteurs protégés: un couplage inductif est possible qui annulerait l'effet du SPD.



Une erreur à éviter est celle qui consiste à mettre le conducteur de terre auquel est raccordé le SPD avec les conducteurs protégés. Dans ce cas, il est probable qu'on crée des surtensions induites sur les conducteurs protégés.

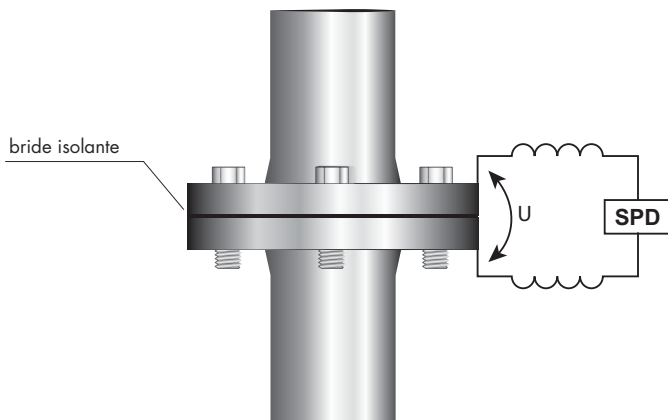
Figure 19: Installation correcte.
Le conducteur de terre est raccordé à la barre équipotentielle, séparé de la phase et du neutre.



Une installation correcte consiste à prévoir que le conducteur de terre en sortie du SPD devra être raccordé à une barre équipotentielle et cheminer dans un canalisation séparée.

Analysons également le comportement du système dans le cas où sont interposées des garnitures de matériau isolant à haute résistance électrique sur les tubulures métalliques (masses externes) et qui créent de graves problèmes en cas de surtension.

En général, au niveau des brides, il suffit d'installer des cavaliers pour garantir la continuité électrique non assurée par les boulons. Dans des applications assez rares, il pourrait être nécessaire d'installer un SPD, dans ce cas **la longueur maximum des raccordements est de 40 cms.**



Distance de protection

Suite à la décision de protéger un appareillage, il faut définir à quel endroit mettre le parafoudre. Plus le SPD est proche de l'appareillage à protéger, meilleure est la protection. A l'inverse, plus il lointain, et moins la protection est efficace.

Un SPD mis dans une armoire ne protège pas tout ce qu'il y a en aval. Il protège jusqu'à une certaine distance, compatible avec la tension (U_w) des appareils raccordés.

Supposons que le dispositif à protéger ait une tension de tenue égale à 2.5 kV, on peut le protéger par exemple s'il est distant de 20 m. Si par contre, U_w est égale à 4 kV, on pourra le protéger jusqu'à une distance de 40 m. Ces valeurs sont données à titre purement d'exemple, elles n'ont aucune signification pratique.

Actuellement la norme fixe une distance maximale de 10 m entre le SPD et l'appareillage à protéger. On peut émettre l'hypothèse que dans le futur, cette distance maximale de protection ne dépassera pas 3 m. Pour être certain de la protection offerte par un parafoudre, il est mieux de vérifier la relation: $U_{p/f} < U_w/2$ (EN 62305).

Approfondissements

La nécessité d'établir une distance maximale de protection à pour origine des phénomènes complexes relatifs aux ondes réfléchies. Une onde de tension, si elle arrive en fin de ligne et trouve une charge non adaptée, reflète, retourne en arrière et se superpose à l'onde de tension qui est en train de se propager.

Ceci signifie que si la surtension résiduelle (U_{res}) qui se maintient aux bornes du SPD, se propage le long de la ligne et qu'elle trouve en fond de ligne un circuit ouvert, elle se reflète, retourne en arrière et par le phénomène des ondes stationnaires, la tension en fond de ligne (donc aux bornes de l'appareillage à protéger) peut doubler atteignant une valeur égale à $2 U_{res}$.

Si la distance est supérieure à 10 m,
on peut calculer par la formule:

$$L_{po} = [U_N - U_{p/f}]/K \text{ [m]}$$

avec $K=25 \text{ V/m}$

Imaginons d'avoir une augmentation de tension totale pour chaque mètre égale à:

$$\Delta U = 2 \cdot S \cdot \tau$$

où

S: variable en fonction de la pente de la forme d'onde: 0.8 - 0.9 représentent des valeurs couramment admises.

τ : est le temps nécessaire pour parcourir le tracer du câble.

$$\tau = L/v$$

où

v = vitesse de propagation de l'onde.

On peut donc obtenir K: $K = 2 \cdot S \cdot \tau$

Et donc, la chute par mètre de câble est $\Delta U = K \cdot L \text{ [V/m]}$

On peut définir: $U_{p/f} + K \cdot L_{po} < U_W$ (cette formule ne s'applique pas en dessous de 10 m)

Souvent il n'est pas possible d'installer un seul SPD pour protéger tous les appareils sensibles de l'installation. Il faut donc installer deux ou plusieurs SPD de façon à ce que tous les appareils entrent sous la protection des SPD.

pour faire ceci, il faut installer les SPD en cascade de façon à ce qu'ils soient en parfaite coordination énergétique.

Deux ou plusieurs SPD coordonnés énergétiquement constituent un SYSTEME de SPD.

Système de SPD et coordination énergétique

Un système de SPD s'obtient en raccordant en cascade au moins deux SPD en coordination énergétique. Cette expression signifie que l'énergie que laisse partir le premier SPD est compatible avec celle que le SPD monté en aval est capable de supporter.

La coordination sera faite en "éloignant" opportunément les SPD, en insérant une inductance de valeur adéquate. Cette inductance, vues les fréquences en jeu, sera créée automatiquement par les câbles utilisés dans l'installation électrique. Les normes donnent $1 \mu\text{H}/\text{m}$; ce qui signifie que si la distance entre 2 SPD est de 5 m, cela équivaut à introduire une inductance de $5 \mu\text{H}$ entre 2 appareils.

La valeur minimale de l'inductance à introduire ou, en d'autres termes, la longueur de câble utile pour éloigner les appareils, sera donnée par le constructeur. Une telle valeur donc, est le minimum demandé pour garantir une répartition des surtensions en terme énergétique entre le SPD amont et le SPD aval. De cette manière, le premier absorbe une énergie telle que l'énergie restante n'endommagera pas le second. (paragraphe 4 de la norme EN 62305).

Souvent un seul SPD à l'arrivée de la ligne ne protège rien. Cette solution convient très bien pour diminuer la probabilité d'une décharge dangereuse et donc un risque d'incendie: le SPD de type 1 évite la mort de personne, mais ne protège pas l'appareillage. On assurera cette protection par un système de SPD.

On devra donc installer un SPD de type 2 le plus près possible de l'appareillage à protéger. A proximité des appareils électroniques sensibles et coûteux (PC, TV, etc...) on devra mettre un SPD de type 3.

Dans la figure suivante est représenté un système de protection contre les surtensions pour un système TT triphasé.

Dans ce cas on utilisera un SPD de type 1 "low U_p ". A une distance minimale de 5m, on installera un SPD de type 2 et selon les appareils finaux utilisés (à au moins 1m de distance du SPD type 2), un parafoudre de type 3.

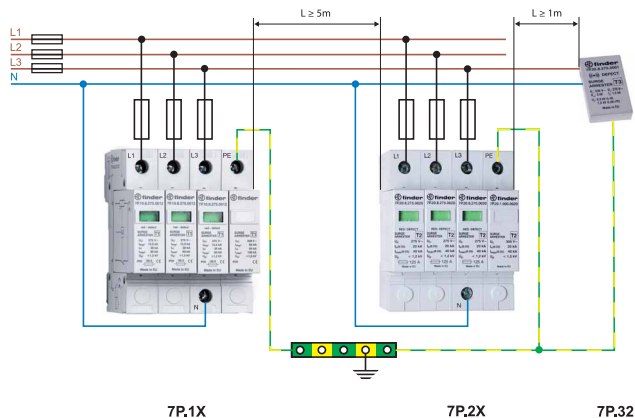


Figure 20:
Coordination énergétique entre
SPD de type 1, type 2 et Type 3.

Les SPD Finder de type 1 garantissent des valeurs de U_p basses, analogues aux valeurs de SPD Finder de type 2. Ceci est rendu possible uniquement en utilisant des varistors de qualité.

Un système de protection analogue peut être obtenu, mais avec des courants de décharges plus importants, en utilisant les SPD combinés type 1+2. Ces SPD remplissent exactement les mêmes fonctions que les SPD de classe I et de classe II mis en cascade (on se rappelle que "classe" et "type" sont synonymes).

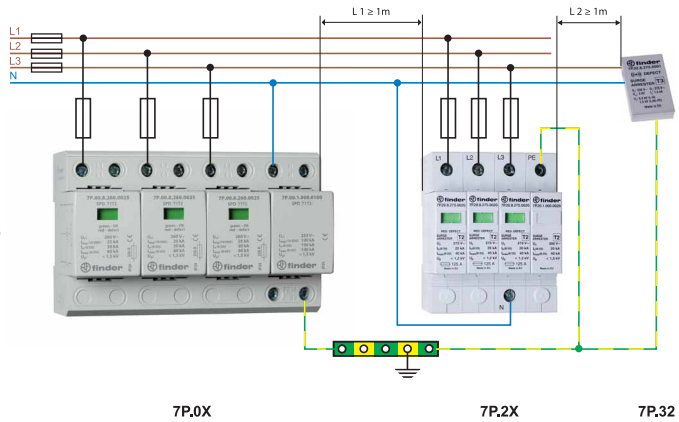


Figure 21:
SPD type 1+2, Type 2 et Type 3
en coordination énergétique.

Les SPD de type 1+2, les "7P.0x", fournissent la même protection que celle offerte par un SPD de Type 1 et un SPD de type 2 parfaitement coordonnés. Dans la Figure 21, un SPD de type 2 a été inséré en prévision d'une extension de l'installation. Pour les installations plus petites, lorsque la distance de protection est respectée, le parafoudre type 2 peut ne pas être installé (Figure 22).

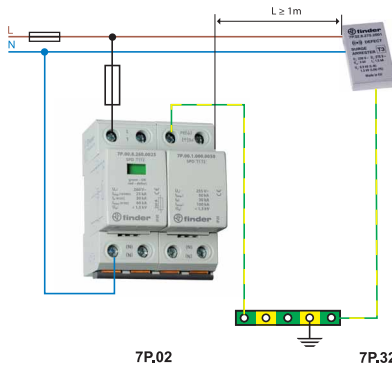


Figure 22:
Coordination énergétique entre
SPD de type 1+2 et type 3.

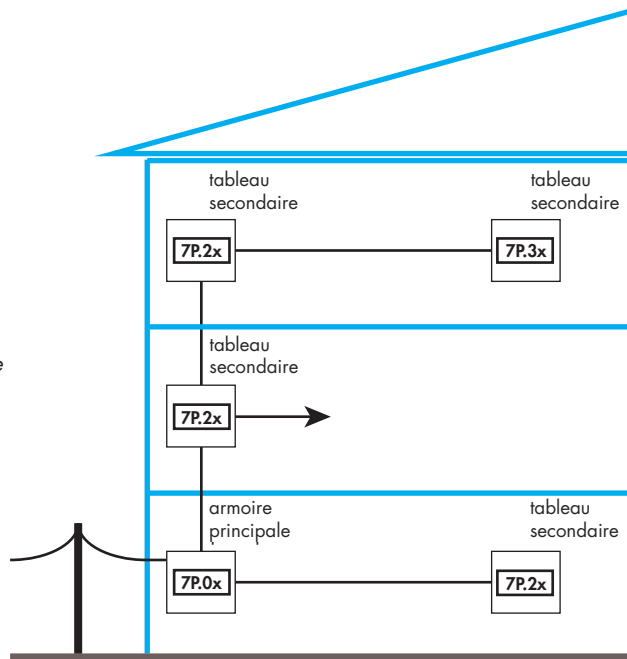
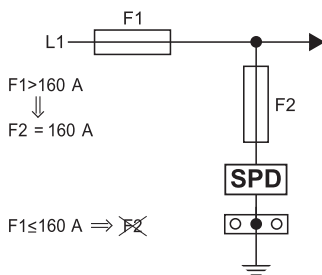


Figure 23:
Coordination énergétique
dans une installation répartie
sur plusieurs niveaux.

Systèmes de protection: fusibles, interrupteurs magnétothermiques et magnétothermiques différentiels

Les parafoudres peuvent être installés avec ou sans fusibles de protection.

Pour définir les cas où il faut installer les fusibles, nous pouvons nous reporter au schéma ci-dessous:



F1 représente le dispositif principal de protection aux surintensités.

Si F1 est supérieur à la valeur de courant indiqué dans le catalogue "protection courant de court circuit", alors le parafoudre devra être protégé par un fusible de la taille suivante:

Pour les SPD de type 1+2 (7P.0x): 250 A

Pour les SPD de type 1+2 (7P.1x): 160 A

Pour les SPD de type 2 (7P.2x): 160 A

Utiliser des fusibles de taille inférieure à celle indiquée est contre productif car ils conduisent à une réduction des caractéristiques du SPD: s'il est sous-dimensionné, le fusible explose pour des courants de foudre inférieurs aux données affichées du SPD, réduisant ainsi les prestations de l'appareil.

Un discours analogue peut être tenu si on utilise des interrupteurs magnétothermiques différentiels et magnétothermiques simples. En laboratoire, des essais ont été réalisés avec divers magnétothermiques de courbe C, avec I_n de 25 A et 32 A: ceci pendant le passage d'une surintensité de forme d'onde 8/20 μ s; ils intervenaient en ouvrant leurs contacts, comme si il y avait un défaut. Les valeurs en jeu étaient très basses, de l'ordre de 5 kA à comparer avec les 20 kA de courant nominal du SPD.

On déduit donc qu'insérer un interrupteur automatique de protection conduit à la réduction des performances du SPD qui ne fonctionnera alors qu'avec des courants inférieurs.

Ceci signifie que:

- Seule une partie de la surintensité est limitée
- Le SPD ne sera pas endommagé mais il sera déconnecté de l'installation jusqu'à ce qu'un opérateur réactive l'interrupteur.
- La norme ne l'interdit pas mais précise que les différentiels augmente l' $U_{p/f}$, avec pour conséquence la réduction de la distance de protection et une plus grande sollicitation des isolements.
- Les magnétothermiques des divers producteurs sont très divers entre eux, et il difficile d'établir à priori le comportement du SPD.

Suite aux tests réalisés, nous avons noté que des magnétothermiques de 63 A, courbe C permettent au SPD de travailler jusqu'à 38 kA (au lieu de 40 kA de I_{max} , autorisé par le SPD), ce qui n'est pas encore suffisant pour avoir une parfaite correspondance avec les données nominales; on conseille donc d'utiliser toujours des fusibles qui ne pénalisent pas l' $U_{p/f}$ et sont standards dans leur fonctionnement, indépendamment du constructeur.

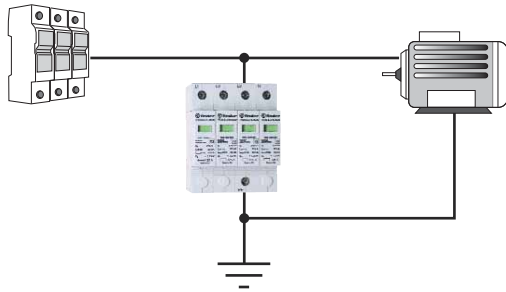
Il est important de vérifier pour un SPD type éclateur, que la valeur nominale d'interruption du courant de suite soit supérieure à la valeur du courant de court circuit au point d'installation.

Les SPD Finder, sans fusible, ont une capacité d'extinction du courant de suite égal à 100 A.

Avec l'utilisation d'un fusible, la valeur de tenue au courant de court-circuit augmente jusqu'à 35 kA.

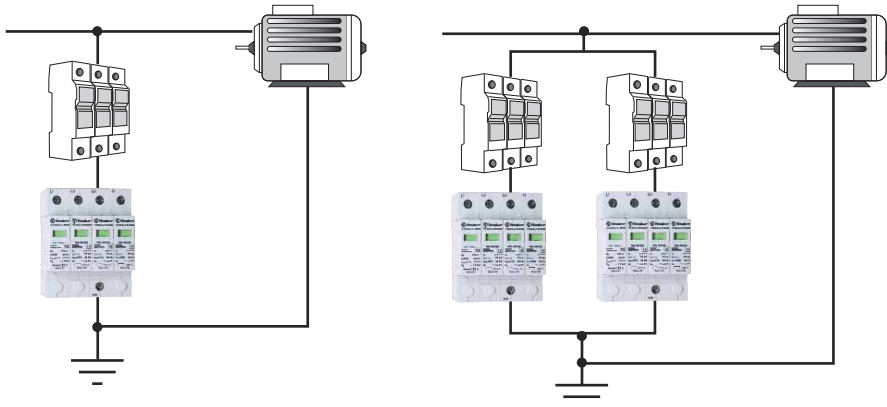
Les protections peuvent être installées de façon à privilégier la protection ou la continuité de l'alimentation (donc du service) du dispositif à protéger.

Priorité de la protection:



Dans ce cas, le fusible protège, en plus du SPD, le dispositif à protéger. Si un fusible fond parce que le SPD est endommagé à cause d'une surintensité élevée, la machine s'arrête.

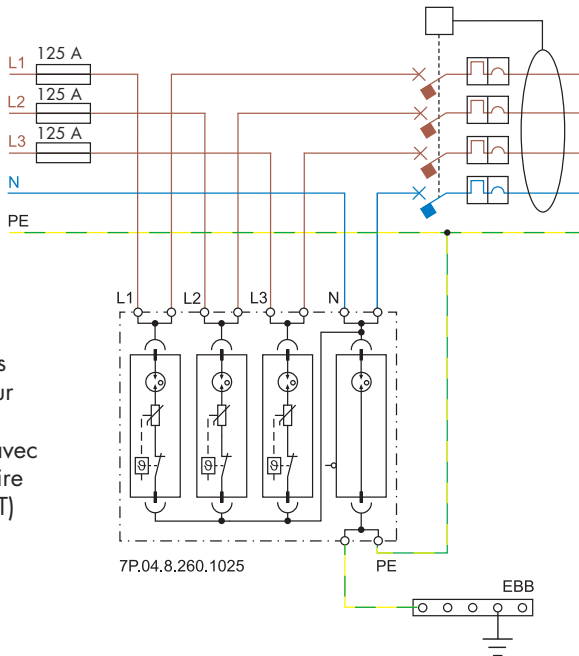
Priorité à l'alimentation:



Dans la priorité à l'alimentation, le fusible protège uniquement le SPD. Dans ce cas, si le fusible fond parce que le SPD est endommagé à cause d'une surintensité élevée, l'appareillage continuera de fonctionner. On ne perdra pas le service mais la machine n'est plus protégée. Si on l'estime opportun, le système de protection aux surtension peut être répété 2 fois.

Raccordement série (type V)

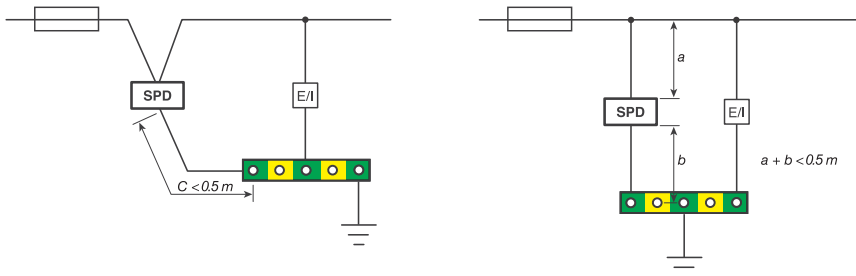
Raccordement série (type V) permet d'augmenter l'efficacité de la protection en éliminant les effets de la tension inductive créée dans les conducteurs de connexion du parafoudre, durant le drainage de la surintensité. La limite de ce montage est celle du courant nominal que le système peut admettre au niveau des doubles bornes du parafoudre. il ne doit pas dépasser 125 A.



Pour les systèmes dans lesquels le courant nominal est supérieur à 125 A, on doit réaliser le raccordement du parafoudre avec la méthode classique c'est à dire en parallèle du système (Type T)

Les conducteurs

Selon le type de raccordement, série (type V) ou parallèle (type T), il est nécessaire de veiller à ce que la longueur et la section minimale des conducteurs qui alimentent le parafoudre soient respectées:



Les conducteurs de raccordement du SPD doivent être le plus court possible et rectilignes. La section des conducteurs de raccordement entre le SPD et les conducteurs actifs de la ligne électrique sont les mêmes que ceux utilisés pour l'installation électrique au point d'installation du SPD. Les sections des conducteur de raccordement vers la terre doivent avoir des sections minimales bien précises comme indiqué dans le tableau ci-dessous (conducteur en cuivre):

SPD	Section minimale mm ²
Classe I	6
Classe II	4
Classe III	1.5

6 - Applications industrielles

Préambule

Dans le domaine industriel, les critères d'installation sont identiques à ceux du secteur tertiaire. La différence se situe essentiellement au niveau du nombre de phases. Les installations industrielles peuvent être de type TN, IT et TT, ce dernier s'applique également pour le tertiaire. En référence à la norme EN 60364, trois modes de distribution ont été définis selon le type de raccordement à la terre du système des conducteurs actifs et du raccordement à la terre des masses.

Deux lettres ont été définies pour leur classification:

1^{ère} lettre T = neutre raccordé à la terre

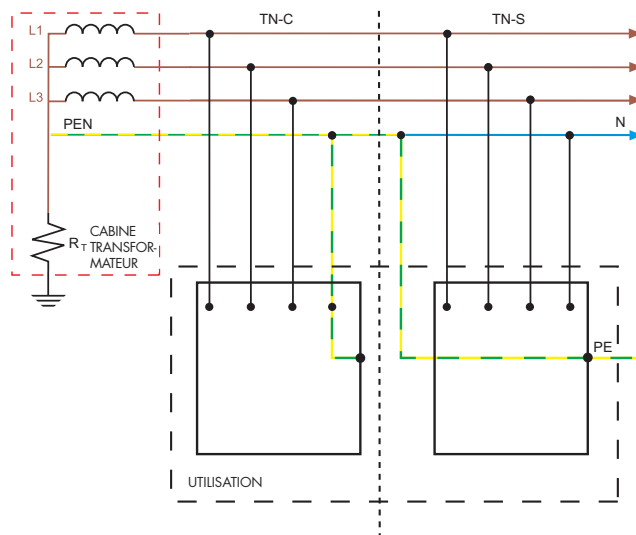
1^{ère} lettre I = neutre non raccordé à la terre ou raccordé à la terre par une impédance.

2^{ème} lettre T = masse raccordée à la terre

2^{ème} lettre N = masse raccordée au neutre du système

Nous allons analyser les méthodes d'installation des SPD dans le domaine industriel. Nous analyserons donc dans l'ordre les systèmes TN, IT et enfin, le système TT qui s'applique également aux installations tertiaires.

Système TN



Dans le système TN, le neutre du système est raccordé directement à la terre. Les masses sont raccordées au neutre directement (TN-C) ou par l'intermédiaire d'un conducteur de protection (TN-S). Si le conducteur de neutre est confondu avec le conducteur de protection, ce conducteur prend le nom de PEN.

Le mode le plus correct d'installation des SPD est le type "A" qui prévoit que les SPD soient installés entre conducteurs actifs et le conducteur de protection principal ou entre les conducteurs actifs et le collecteur principal de terre.

Dans les deux cas, on choisira toujours le parcours le plus court.

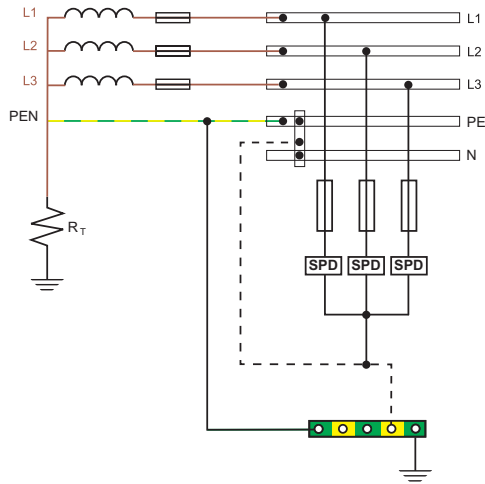


Figure 24: Connexion de type A: SPD entre les conducteurs actifs et PEN.

Selon le tableau secondaire, un système TN-C, pourrait devenir TN-S, et comme dispositif de protection des contacts indirects, on peut utiliser des interrupteurs différentiels (RCD) comme indiqué sur la Figure 25.

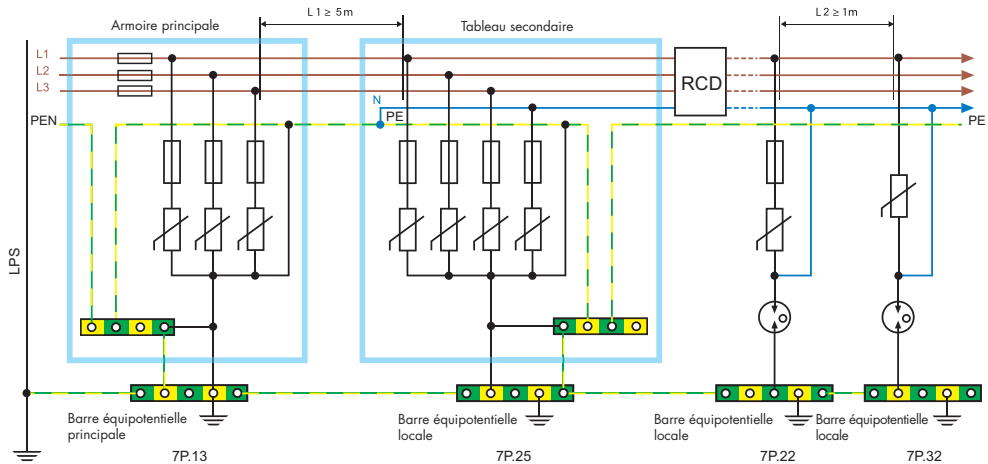
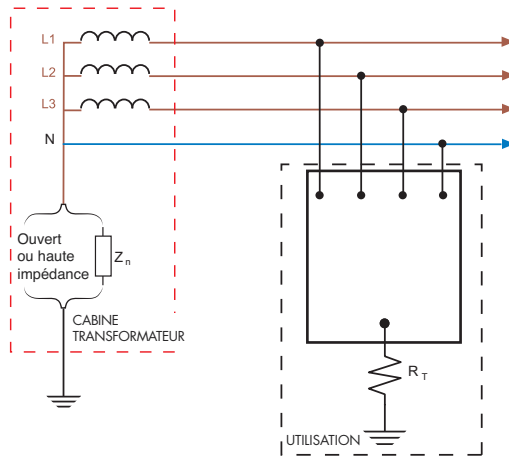


Figure 25: Connexion de type "A" et coordination énergétique effectuée avec des SPD Finder.

Dans l'armoire principale, on installera un SPD de type 1, dans le tableau secondaire, en amont du différentiel, un SPD de type 2 qui sera du type "4+0" donc équipé de 4 varistors. En aval du différentiel, on pourra utiliser des SPD de Classe II avec configuration 1+1.

Schéma IT



Dans le système IT, le neutre est isolé ou raccordé à la terre par une impédance de valeur importante (pour le 230/400 V une centaine d'Ohms), tandis que les masses sont raccordées à une terre locale. Ce système est utilisé pour les installations avec des exigences particulières de continuité de service.

On conseille également pour ce type de schéma d'utiliser la connexion type "A".

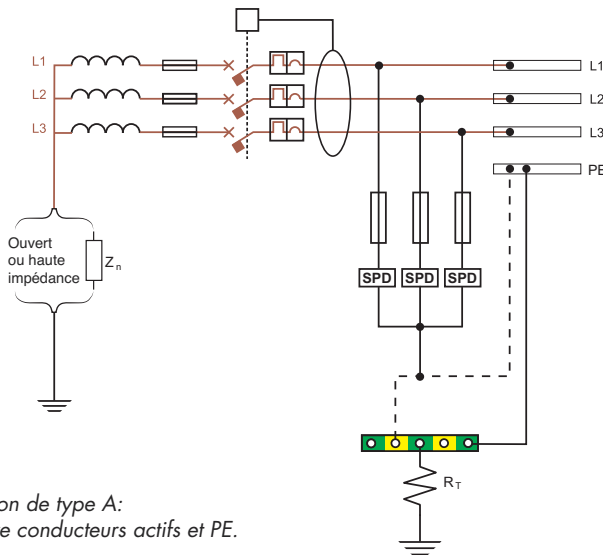
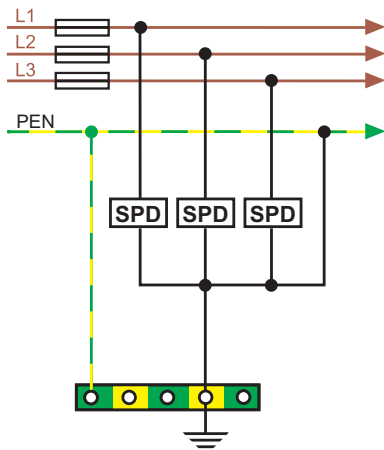


Figure 26: Connexion de type A:
SPD entre conducteurs actifs et PE.

Comme déjà indiqué, le système IT est utilisé dans des conditions particulières, par exemple dans les industries où la production ne peut être arrêtée en aucun cas. Au premier défaut, un système IT devient un TT ou TN, où le système continue de fonctionner correctement de façon à ce que la production ne s'arrête pas.

Au premier défaut, le conducteur PE assume le potentiel de la phase défectueuse ce qui n'est pas un problème puisque le PE et toutes les parties qui peuvent être touchées en même temps ont le même potentiel et non ne peut donc avoir de différence de potentiel dangereuse. Ceci implique qu'en phase d'étude de la protection contre les surtensions dans un système IT 230/400 V, en cas de SPD défectueux, on aura une tension de 400 V sur le SPD non défectueux. Selon le type de IT, si le neutre est distribué ou non, on doit choisir des SPD adéquats prenant en compte la tension qui peut se présenter en cas de défaut sur les SPD.

Système IT avec neutre NON distribué



$$U_n \leq 400 \text{ V AC}$$

SPD L-PE:

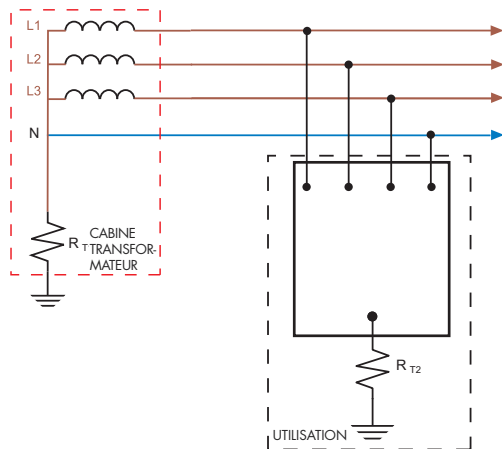
$$U_c = 600 \text{ V AC}$$

donc:

$$3 \times \text{SPD } U_c = 600 \text{ V AC}$$

Pour les systèmes IT avec neutre distribué la valeur d'interruption du courant de suite pour les SPD connectés entre neutre et terre doit être la même que pour les parafoudres connectés entre phase et neutre.

Système TT



Dans le système TT: le neutre est raccordé directement à la terre tandis que les masses sont raccordées à une installation de terre locale indépendante de celle du neutre.

Les SPD peuvent être raccordés au réseau électrique selon la connexion "type B" ou "type C". La connexion type B prévoit que les SPD soient raccordés entre chacun des conducteurs actifs et le conducteur de protection principal, ou si le parcours est plus petit, entre chacun des conducteurs actifs et le collecteur principal de terre.

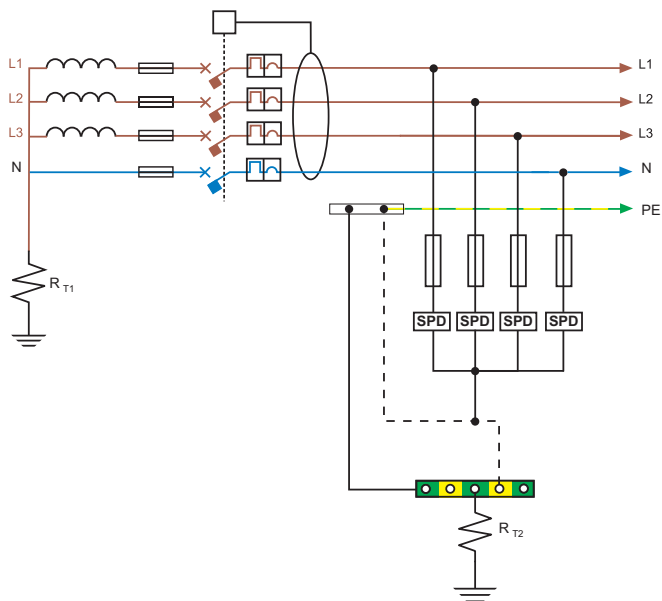


Figure 27: Connexion de "type B": les SPD raccordés aux phases et au neutre sont ramenés à la terre.

La connexion de "type C" prévoit le raccordement des SPD entre chacun des conducteurs de phase et le neutre et entre le conducteur de neutre et le conducteur de protection ou, si le parcours est plus faible, entre le neutre et le collecteur principal de terre.

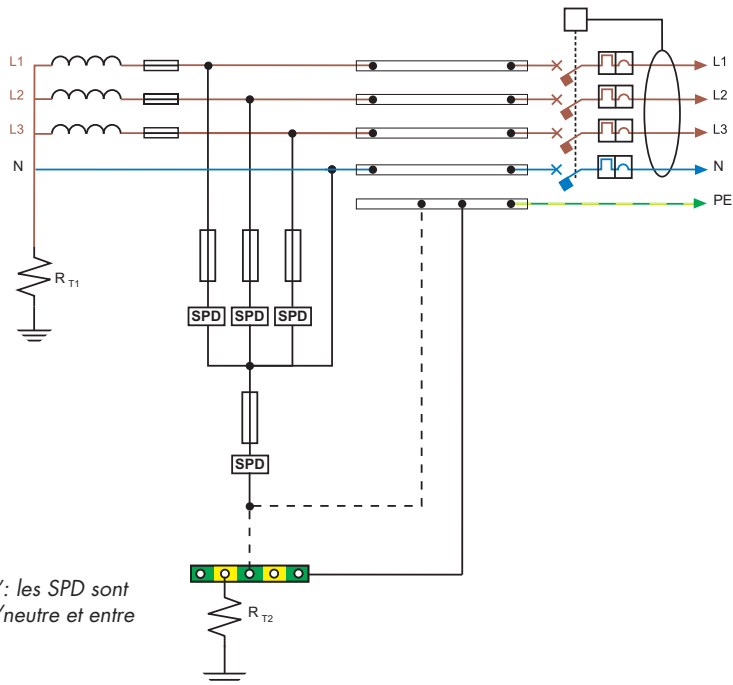


Figure 28:
Connexion de "type C": les SPD sont raccordés entre phase/neutre et entre neutre/terre.

Dans la connexion de "type B", les SPD sont raccordés en aval du différentiel, donc une éventuelle surtension traversera d'abord le différentiel avant d'atteindre le SPD. Ceci signifie qu'un différentiel normal, suite aux sollicitations électrodynamiques associées aux surintensités, peut exploser ou simplement s'ouvrir, interrompant le circuit. Des différentiels de type S ont été testés, avec 10 chocs de surtension de forme d'onde 8/20 μ s et une amplitude de 3 kV, pour éviter l'intervention intempestive et ont permis aux SPD de fonctionner correctement. Les tests ont donc porté uniquement sur des faibles valeurs de surtension, cependant même avec ces valeurs, des problèmes peuvent se poser.

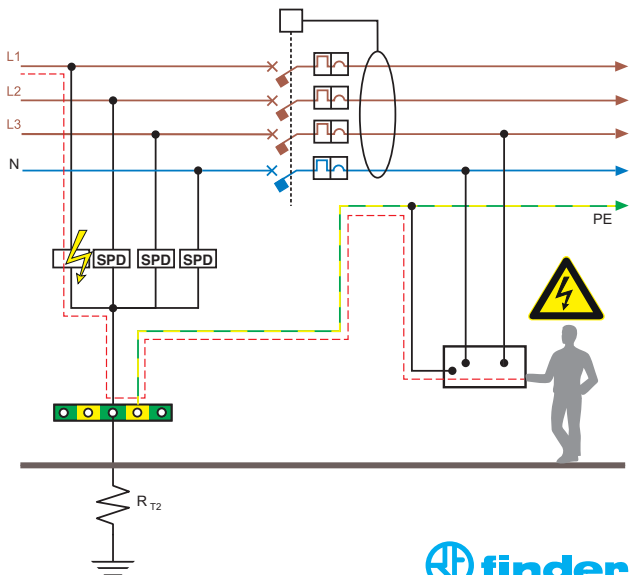
Il convient donc d'installer les SPD en amont du différentiel, comme schématisé dans la connexion de "type C". Dans ce cas, les SPD devront avoir une configuration "3+1": varistors entre phase et neutre, GTD entre neutre et terre.

Il est important de respecter la configuration "3+1". En effet, avec 4 varistors (configuration "4+0") on introduit un point faible potentiellement dangereux dans l'installation. Supposons que nous ayons installé dans un système TT un SPD réalisé avec 4 varistors raccordés selon la connexion Type B en amont du différentiel.

En cas de défaut d'un varistor, une certaine quantité de courant va vers la terre, faisant monter la tension des masses.

L'interrupteur différentiel, étant connecté en aval du défaut, ne peut pas le prendre en compte et n'ouvre pas le circuit.

Dans ce cas, donc, les masses raccordées à l'installation de terre seront soumises à une tension dangereuse pour les personnes.



En interposant un GTD
entre neutre et terre,
nous pouvons éviter
ce problème:

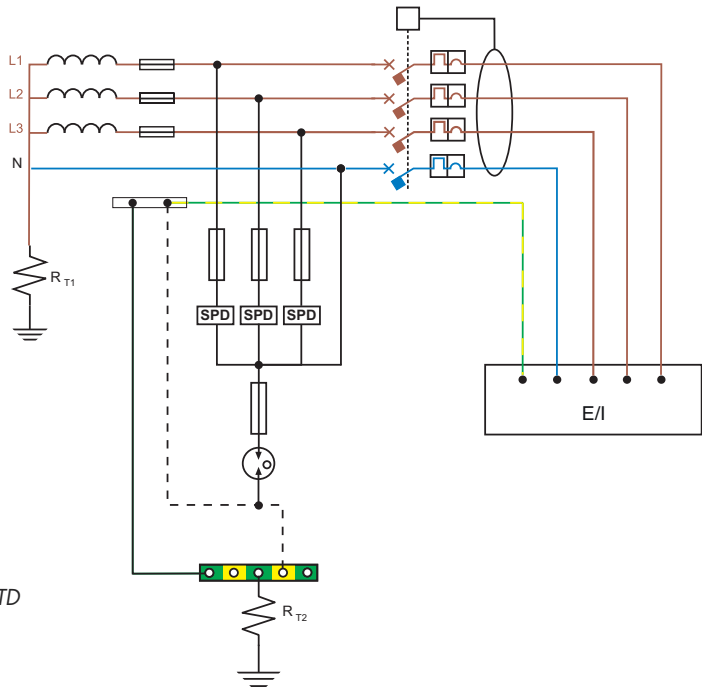


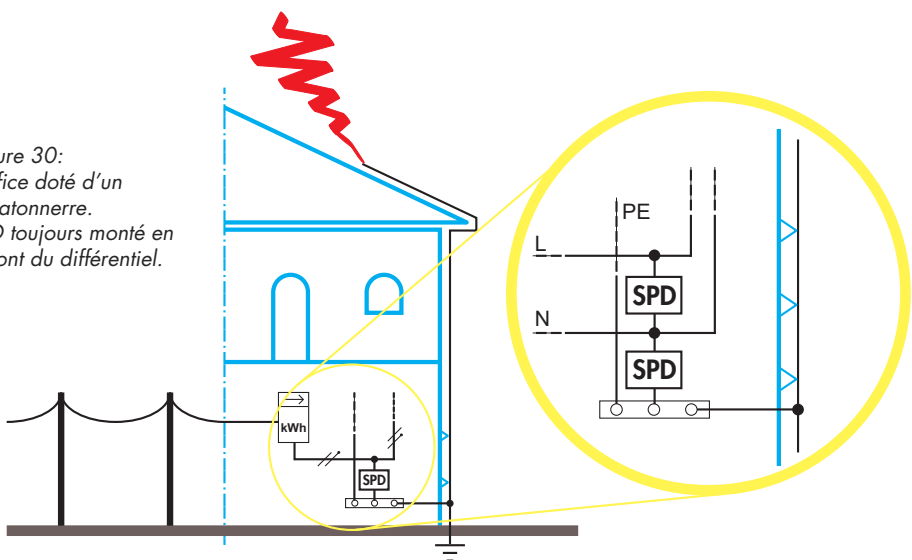
Figure 29:
Raccordement d'un SPD
composé de varistors + GTD
en amont du différentiel.

Avec la configuration "3+1", les masses raccordées en aval du différentiel ne peuvent monter en tension en cas de défaut du varistor car le GTD garantit une séparation galvanique vers la terre, garantissant la sécurité des personnes.

Si l'édifice est doté d'un paratonnerre (LPS), des connexions de "type C" doivent être utilisées, la connexion de "type B" ne pouvant être utilisée.

Ceci est dû au fait que, lorsqu'un impact de foudre se décharge vers la terre, par la canalisation prévue à cet effet, l'installation de terre remonte en potentiel. Le SPD intervient refermant la surtension sur la ligne qui est au potentiel 0. Les dispositifs raccordés à l'installation seront sollicités par une surtension égale à U_{res} du SPD.

Figure 30:
Edifice doté d'un
paratonnerre.
SPD toujours monté en
amont du différentiel.



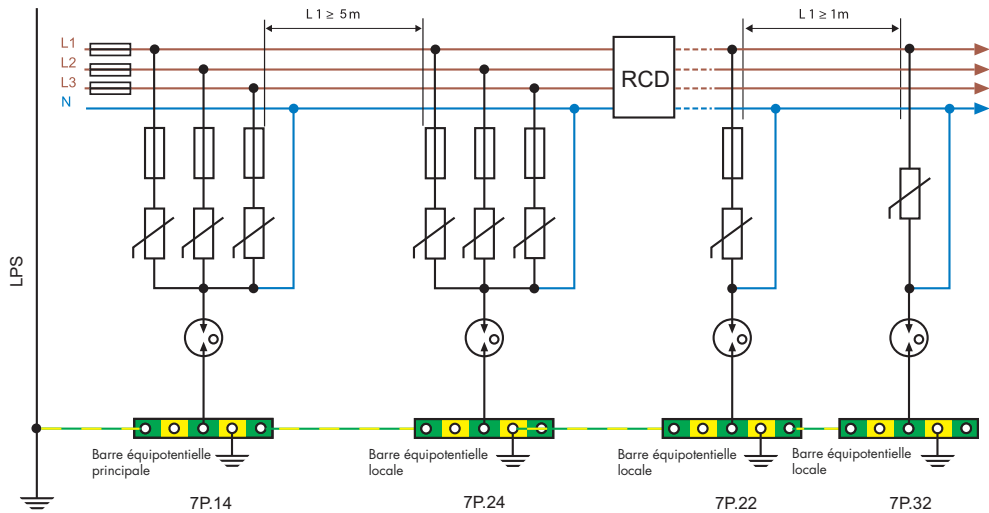


Figure 31: Connexion de "type C" et coordination énergétique effectuée avec SPD Finder

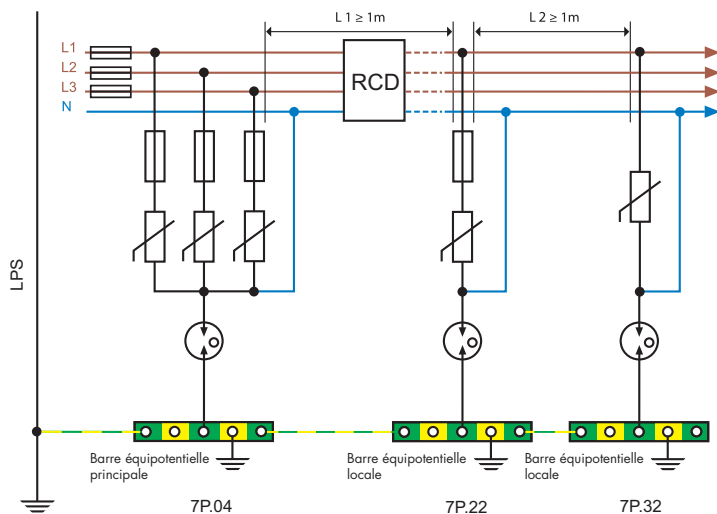


Figure 32: Connexion de "type C" et coordination énergétique effectuée avec SPD Finder de type combiné.

Modes de protection des SPD

En résumé, nous pouvons dire que les SPD peuvent être connectés de différentes manières, comme indiqué précédemment, selon les connexions de "type A", "type B", et "type C", comme indiqué dans le tableau ci-dessous (CEI 64-8/2):

SPD raccordés entre les conducteurs de:	Configuration du système au point d'installation du SPD		
	raccordement type A	raccordement type B	raccordement type C
Chaque phase et le neutre	NA	NA	•
Chaque phase et PE	NA	•	NA
Neutre et PE	NA	•	•
Chaque phase et PEN	•	NA	NA
Conducteur de phase	+	+	+

• - Demandé
 NA - Non Applicable
 + - Facultatif, en complément

7 - Applications tertiaires

On pense souvent que dans les systèmes tertiaires, tels que les maisons, villas, appartement, il n'est pas nécessaire d'installer des parafoudres en oubliant cependant que même ces systèmes sont connectés à une ligne électrique en moyenne tension, ayant une certaine extension, sujette à des surtensions de manœuvre et à des foudroiements directs ou indirects. La protection optimale se fait en installant dans le tableau principal, un SPD de type 1 au point de livraison de l'énergie électrique, après le compteur. Dans le tableau secondaire on installera en coordination énergétique un SPD de type 2. En variante, on peut installer dans le tableau principal, un SPD de type combiné 1+2 remplissant les 2 fonctions (ce qui permet d'économiser de l'argent et de la place).

SPD de MT

Sur la ligne MT de distribution de l'énergie électrique, on installe des SPD pour la protection des dispositifs dédiés au fonctionnement normal de la ligne. Les SPD de Moyenne Tension, peuvent être installés dans la cabine du transformateur pour la protection des transformateurs. Dans ce cas, nous avons une augmentation des probabilités de panne de l'appareillage domestique: durant l'intervention du SPD, l'installation de terre de la maison peut atteindre des tensions de l'ordre de la dizaine de kV, que nous retrouvons sur les appareils électrodomestiques. Voyons l'explication: supposons que nous ayons un SPD pour MT installé à proximité d'une habitation, comme indiqué dans la Figure 33.

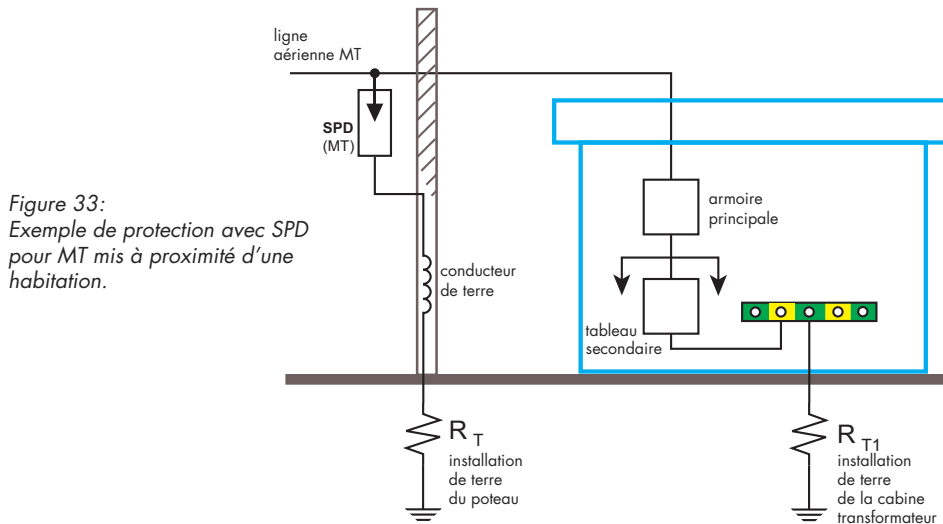


Figure 33:
Exemple de protection avec SPD
pour MT mis à proximité d'une
habitation.

Le poteau est doté d'une installation de terre, comme l'habitation.

Supposons qu'une surintensité de forme d'onde 8/20 μ s, d'amplitude 2 kA se propage le long de la ligne.

Quand elle rencontre le SPD, celui-ci intervient, déchargeant le courant vers la terre.

Entre la ligne et la terre nous avons une différence de potentiel donnée par la somme de 3 éléments:

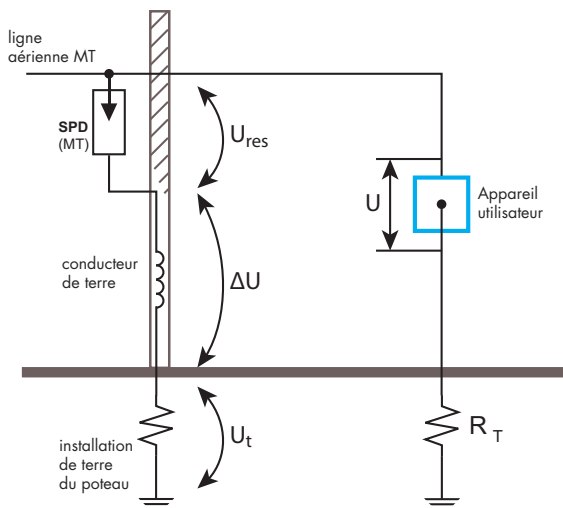
- La tension résiduelle du SPD, $U_{res}=1.5$ kV
- La chute de tension le long du conducteur de terre du poteau $\Delta U = 2$ kV
- La valeur de tension atteinte par l'installation de terre pendant la décharge.
Supposons une résistance de terre de 5 Ω , $U_t = 10$ kV

Aux bornes de l'appareil, l'utilisateur aura donc une surtension égale à :

$$U = U_{res} + \Delta U + U_t = 1.5 + 2 + 10 = 13.5 \text{ kV}$$

On observe que la forme d'onde considérée dans cet exemple, correspond à une surtension induite, nous ne sommes pas en présence d'un foudroiement direct. Malgré cela, les sollicitations auxquelles sont soumis les isolements des appareils connectés à la terre, sont très élevées et la possibilité de dégâts irréversibles est très élevée.

Par l'introduction d'un système adéquat de protection contre les surtensions, réalisé avec un SPD de Type 1+2, les surtensions provenant de l'installation de terre seront rebouclées sur la ligne, protégeant ainsi les dispositifs électroniques connectés au réseau et à l'installation de terre.



SPD en amont ou en aval du différentiel?

Pour les systèmes domestiques type TT, il est préférable de monter les SPD en amont du différentiel pour le protéger et pour ne pas avoir à utiliser des différentiels retardés (on invite le lecteur à revoir les caractéristiques des différentiels de type S et les normes correspondantes).

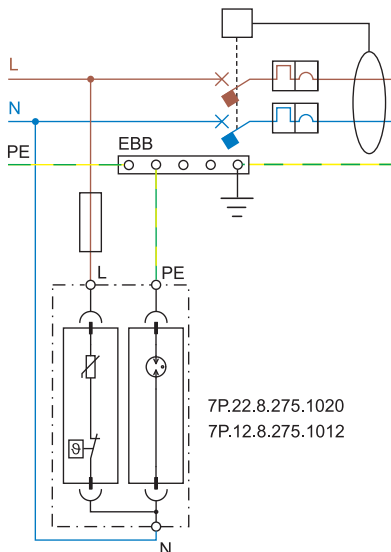
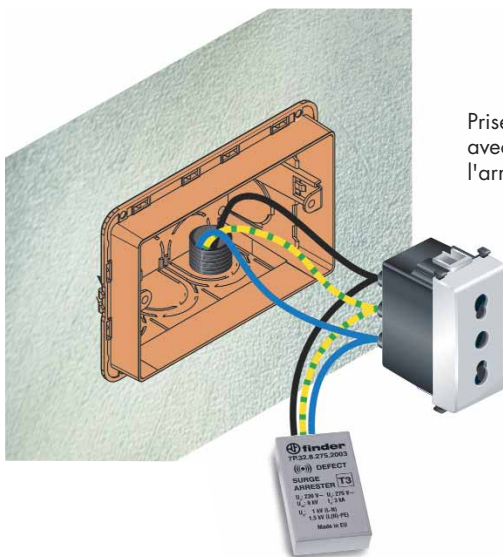
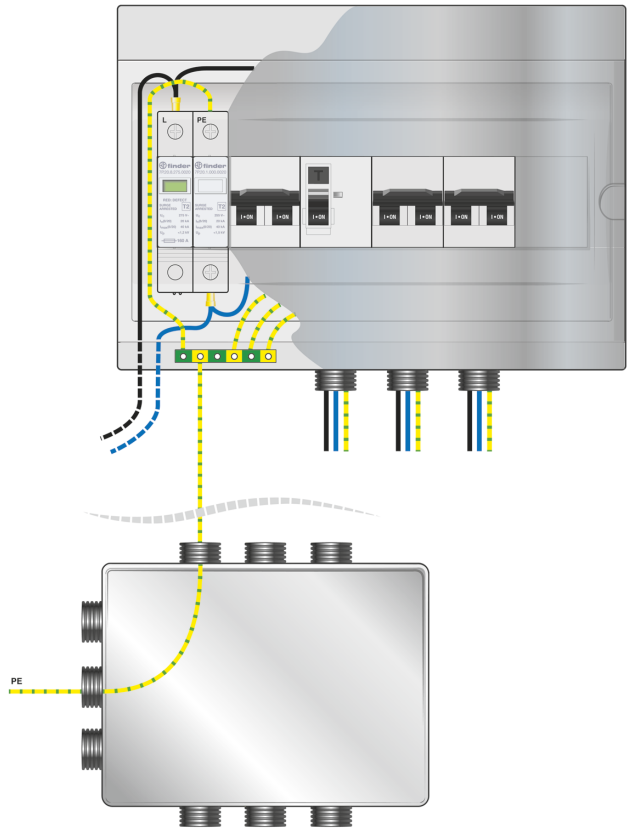


Figure 34:
Applications des SPD dans
les systèmes monophasés.

Comme représenté dans la Figure 34, le SPD doit avoir la configuration "1+1", comprenant donc un GTD qui assure la séparation galvanique entre neutre et terre. Ceci assure en cas de défaut, de ne pas avoir de potentiel dangereux sur les masses raccordées à l'installation de terre.

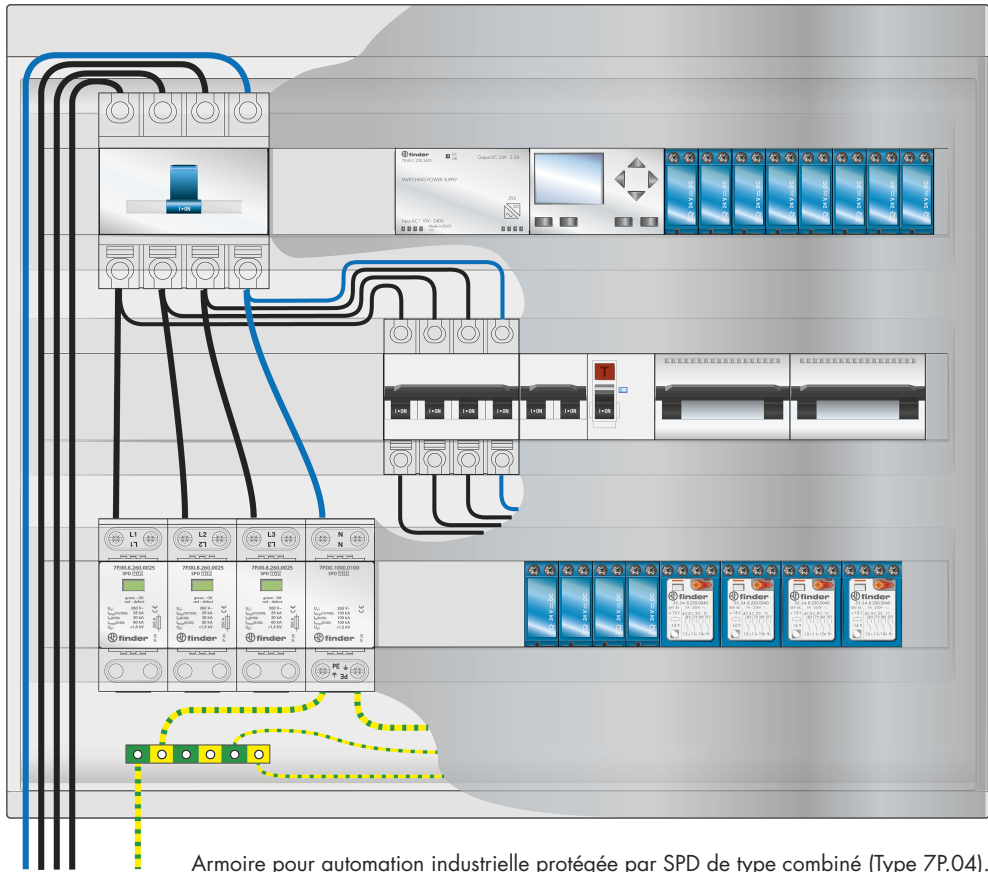
En aval du différentiel, il est possible d'installer indifféremment des SPD avec varistor et GTD ou deux varistors.

Exemples d'installation pour applications résidentielles



Prise protégée par un SPD coordonné avec le parafoudre installé dans l'armoire principale.

Exemples d'application pour applications industrielles



8 - Installations photovoltaïques: protection contre la foudre et les surtensions

Au cours de l'étude d'une installation photovoltaïque, on apportera une attention encore plus importante à la protection du système contre les foudroiements directs ou indirects que pour une installation électrique classique.

La raison est, probablement psychologique, car une installation classique est exposée aux effets de la foudre de la même manière qu'une installation PV. Mais celle-ci est installée en extérieur, sur les toits, souvent sur des structures métalliques, à proximité de végétation et de fils électriques, éléments qui font augmenter la probabilité de foudroiement vers la terre.

L'installation classique, au contraire, on l'imagine protégée des risques de foudre directe ou indirecte parce qu'elle est noyée dans le ciment. C'est une erreur ! en fait, le ciment ne contribue pas à réaliser un blindage par rapport aux effets du champ électromagnétique de la foudre. Le blindage, comme nous l'avons noté, se réalise uniquement avec des conducteurs métalliques, très proches les uns des autres, qu'on peut obtenir avec du ciment armé métalliquement ou avec une cage de Faraday.

Pour définir si on doit prendre des mesures de protection contre la foudre et lesquelles, on doit effectuer une analyse de risque selon la norme EN 62305-2 de la structure à protéger.

Les dommages que la foudre peut provoquer vont de la mort de personnes, au début d'incendie, explosions, ou destruction des appareils électroniques avec des conséquences économiques importantes liées à des arrêts de production.

Selon la norme EN 60305 les risques à considérer, selon l'usage de la structure sont:

- R₁: perte de vie humaine
- R₂: perte de service (TV, H₂O, gaz, électricité...)
- R₃: perte de patrimoine culturel (ex.: musée)
- R₄: pertes économiques (pertes de production etc...)

Selon le type d'installation on effectuera une analyse différente:

- Installation à terre: l'analyse du risque sera relative à une partie du bâtiment ou à une zone bien précise.
- Installation sur le toit: l'analyse du risque s'adresse au bâtiment dans son ensemble.

De l'analyse du risque émerge le risque de foudroiement direct et indirect de l'installation que l'on veut protéger.

On parle de foudroiement direct, lorsque la foudre frappe directement une structure et de foudroiement indirect lorsque la foudre frappe à proximité d'une structure. Dans ce cas, tous les conducteurs, y compris ceux qui proviennent des panneaux photovoltaïques (coté DC) sont exposés à des surtensions induites causées par le champ électromagnétique de la foudre.

La même chose peut se produire sur les lignes entrant et/ou sortant du champ photovoltaïque: en cas de foudroiement direct ou indirect d'une ligne MT raccordée à l'installation PV, on a une injection du courant de foudre sur le coté AC du champ avec l'inévitable destruction du coté AC de l'onduleur.

Foudroiement direct

Avant de prévoir un système de protection contre les surtensions pour une installation photovoltaïque, on doit avant toute chose évaluer le risque de perte de vie humaine (R₁). On se souvient que l'unique solution pour protéger une structure du foudroiement direct est la cage de Faraday, ou un paratonnerre. (LPS).

La seconde étape consiste à évaluer le risque du point de vue économique (R₄): est-ce qu'il faut protéger l'onduleur et les panneaux des surtensions? Combien me coûterait un arrêt de production pour remise en état (autre que la perte de production)? Pour un maximum de protection, dois-je aussi installer un paratonnerre? (LPS).

Dans les premières questions, on doit évaluer au niveau du projet, combien coûte l'assistance pour un dommage causé par la foudre, en combien de temps l'assistance peut elle intervenir et résoudre le problème (réparation du produit, de l'installation, etc...) et dans le cas d'un arrêt machine, combien coûte une non production. On doit donc évaluer le niveau de risque que l'on est disposé à accepter.

Pour ce qui concerne le LPS, par contre, il n'est pas conseillé de protéger une installation PV avec un LPS dans la mesure où les coûts sont élevés et que le rapport dépenses/bénéfices n'est pas favorable. De plus, il faut considérer que le LPS est réalisé avec une hampe captatrice et des câbles suspendus qui diminuent l'exposition des panneaux. Le LPS sera donc installé uniquement lorsqu'il est strictement nécessaire, au contraire des SPD, qui représentent toujours le système de protection le plus économique et le plus efficace possible.

Foudroiement direct pour installation PV à terre:

Dans le cas des installations photovoltaïques à terre, on part du principe qu'il peut toujours y avoir une personne présente (R_1). On doit donc toujours considérer la tension de pas V_p et de contact V_c , tandis que le risque d'incendie est infime.

Dans les installations à terre, le paramètre fondamental à prendre en compte est la résistivité du sol ρ_0 : si $\rho_0 = 5 \text{ k}\Omega$ ceci équivaut à avoir un tapis de sol isolant, et V_p est négligeable (5 cms d'asphalte ou 15 cms de glace devraient assurer les mêmes valeurs ohmiques). Si le champ PV est sur un terrain agricole, au contraire, on doit faire une analyse de risque.

Installation photovoltaïque sur le toit d'un bâtiment:

Si on doit réaliser une installation photovoltaïque sur le toit d'un bâtiment, on doit toujours faire une analyse de risque ou la demander à un organisme spécialisé.

Si l'édifice est déjà équipé d'un paratonnerre et si on réalise une installation photovoltaïque sur le toit, la fréquence de foudroiement peut augmenter car, par exemple, les panneaux inclinés et non intégrés, augmentent la hauteur de l'édifice l'exposant davantage au foudroiement direct. Dans un tel cas, on peut réduire, par exemple, la maille de 20 x 20 cms à 15 x 15 cms, à moins que le LPS n'appartienne à la classe la plus sévère: la Classe I.

Si l'édifice est doté d'un LPS, il faut:

- S'occuper de l'équipotentialité pour éviter des décharges transversales
- Raccorder le SPD entre capteurs et descentes
- Éviter que les structures métalliques utilisées pour le champ PV ne deviennent des capteurs naturels.

En pratique, la réalisation d'une installation PV se fera en étroite collaboration avec le concepteur du LPS.

Foudroiement indirect

Les foudroiements indirects peuvent donner lieu à des surtensions et décharges dangereuses respectivement par couplage inductif et couplage résistif.

Le couplage résistif se rencontre quand la foudre frappe une ligne électrique et le courant en se propageant sur la ligne, entre dans le bâtiment. Si les valeurs de la surtension sont élevées et dépassent la tenue des isollements des composants intéressés (dispositifs électroniques, câbles, etc...), on peut assister à un début d'incendie.

Les surtensions qui naissent par couplage inductif sont générées par le champ électromagnétique de la foudre qui, étant fortement variable, en investissant les conducteurs de l'installation PV (ou AC standard) génère des surtensions. Ces surtensions ne sont pas en mesure de créer un incendie, mais elles peuvent détruire l'appareillage.

Pour réaliser un bon système de protection pour un appareillage, on doit se référer à la tension de tenue au choc du dispositif et non au niveau d'immunité (ces valeurs sont données par les constructeurs).

Ce niveau d'immunité est une valeur de tension qui, si elle est dépassée, cause un dysfonctionnement du dispositif. Plus on s'éloigne de cette valeur, plus on réduit la durée de vie de l'appareillage, mais elle ne crée pas de dommage irréversible. La tension de tenue est la valeur maximale de tension que peut supporter un appareillage, et si on la dépasse, on a des dommages irréversibles.

Tension du système		Tension de tenue au choc [V]			
[V]		Catégorie de surtension			
AC	DC	I	II	III	IV
50	71	330	500	800	1500
100	141	500	800	1500	2500
150	213	800	1500	2500	4000
300	424	1500	2500	4000	6000
600	849	2500	4000	6000	8000
1000	1500	4000	6000	8000	12000

Tension de tenue au choc (1.2/50 μ s) pour systèmes en basse tension (CEI EN 62109-1:2010-12)

Si nous considérons un onduleur, celui-ci a 2 raccordements vers l'extérieur: coté DC pour les connexions avec les panneaux et coté AC pour les connexions vers le réseau électrique. Ceci signifie qu'il doit être protégé par un SPD sur les deux cotés.

Protection contre les surtensions

Protection Coté AC

Commençons par l'analyse des surtensions rencontrées par couplage résistif, qui sont les plus énergétiques et donc les plus dangereuses.

Il est important de se rappeler que les surtensions qui naissent par couplage résistif peuvent générer des décharges dangereuses parce qu'elles contiennent une énergie suffisante pour créer un incendie ou détruire l'appareillage raccordé au réseau AC.

Le couplage résistif entre les parties conductrices détermine, en plus, des tensions de pas et de contact dangereuses. Les tensions de pas ont une évolution décroissante et sont dangereuses pour les humains et les animaux.

Un exemple typique de couplage résistif, est celui d'un coup de foudre qui frappe la ligne électrique et qui se propage sur cette ligne.

Les installations PV sont raccordées au réseau électrique et sont donc sujettes à ce type de surtension.

L'onduleur, donc, doit être protégé à la fois par les surtensions induites, et par les surtensions apportées par la ligne électrique dues à un foudroiement direct ou indirect.

L'onduleur peut être équipé d'un transformateur d'isolement, qui est un excellent filtre vis à vis des surtensions, dans ce cas, le SPD protège le transformateur.

En absence du transformateur, ou dans le cas où on ne sait pas si le transformateur est raccordé à la terre, il est nécessaire d'installer un ou plusieurs SPD au point de livraison de l'énergie électrique.

Les SPD doivent avoir les caractéristiques suivantes:

- Classe I caractérisée par $I_{imp} \geq 10$ kA
- Pour les systèmes TN et TT: $U_c \geq 1.1 U_0$. Pour les systèmes IT $U_c \geq \sqrt{3} U_0$. U_0 est la tension vers la terre.
- Niveau de protection effectif, $U_{p/f} \leq K U_{w, onduleur}$. Où:
K: coefficient de sécurité qui tient compte du vieillissement du SPD.
Dans ce cas on peut dire $K = 0.9$
 $U_{w, onduleur}$: valeur de tenue au choc de l'onduleur.
En considérant qu'une chute ΔU de 1kV/m causée par l'inductance parasite des câbles, $U_{p/f}$ doit être calculé opportunément selon les SPD utilisés.
 $U_{p/f} = U_c + \Delta U$ pour les SPD à limitation (varistor)
 $U_{p/f} = \text{MAX}(U_c, \Delta U)$ c'est à dire le maximum de valeur entre les 2, pour les SPD à commutation, donc les éclateurs.
- La capacité d'extinction du courant de court circuit à 50 Hz avec ou sans fusible, supérieur au courant de court-circuit au point de l'installation.

On se rappelle que l'onde de surtension qui passe par un SPD de type 1 (d'amplitude $U_{p/f}$) est sujette à des phénomènes d'oscillation et de réflexion qui peuvent faire doubler la valeur à laquelle est exposé l'onduleur par rapport aux valeurs qu'il peut supporter en direction de la terre. En plus de la propagation d'une surtension d'amplitude $2 U_{p/f}$ on peut ajouter aux conducteurs une surtension induite d'environ 40 V par mètre de câble qui sépare le SPD type 1 à l'onduleur.

De ceci, on déduit que les SPD de Classe I installé au point de consigne de l'énergie électrique sont suffisant à la protection de l'onduleur seulement si est satisfaite la relation:

$$U_{p/f} \leq kU_w/2$$

Si la règle ci-dessus ne peut être respectée, on doit ajouter un deuxième SPD, de Classe II. Dans ce cas, il est nécessaire de suivre les prescriptions pour la coordination des SPD fournis par le constructeur.

Les SPD de Classe II doivent avoir les caractéristiques suivantes:

- $I_n \geq 5 \text{ kA}$
- Pour les systèmes TN et TT: $U_c \geq 1.1 U_o$. Pour les systèmes IT: $U_c \geq \sqrt{3} U_o$.
 U_o est la tension vers la terre.
- La capacité d'extinction du courant de court circuit à 50 Hz, avec ou sans fusible, supérieure au courant de court-circuit au point d'installation.

Pour les installations internes, la norme permet de négliger les phénomènes d'induction. Ils peuvent également être négligés quand les conducteurs actifs sont blindés, tubés dans une canalisation métallique fermée, ou quand les conducteurs actifs et PE sont cordés et que l'analyse du risque exclue la nécessité d'un LPS.

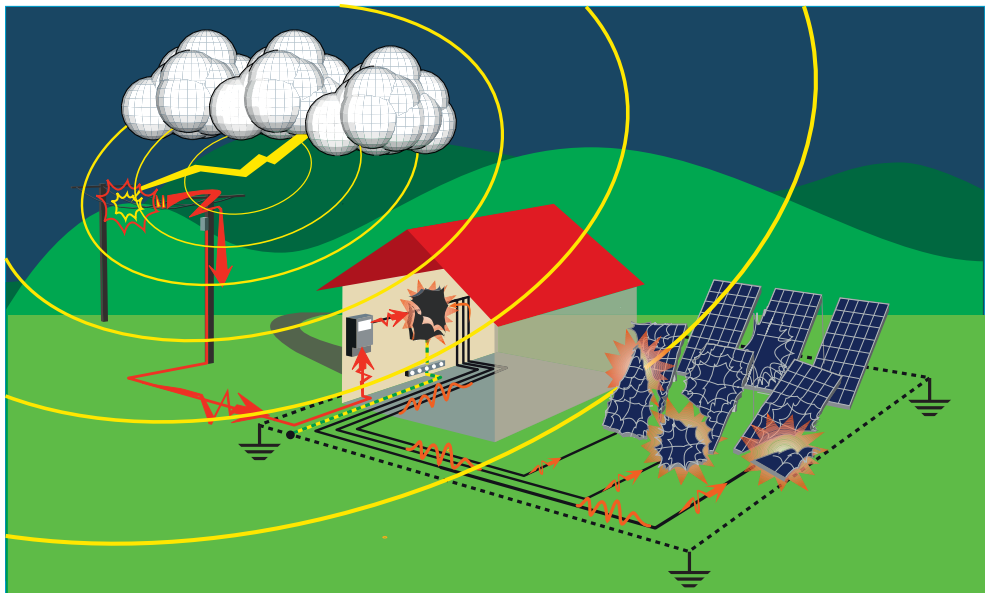


Figure 35: Addition des divers phénomènes de foudre: couplage résistif et inductif.

Pour réduire la valeur des surtensions dans la limite de ce que peut supporter l'onduleur, il faut installer à proximité de ce dernier un SPD de Classe II ayant les caractéristiques suivantes:

- $I_n \geq 10 \text{ kA}$
- $U_c > 1.1 U_o$ pour les systèmes TT ou TN (avec U_o = tension vers la terre)
- $U_c > 1.73 U_o$ pour les systèmes IT
- $U_p < (0.9 U_w)/2$
- Capacité d'extinction du courant de court circuit au point d'installation, avec ou sans fusible.

Si les SPD sont installés en protection des installations internes, la norme permet de négliger les phénomènes d'induction, donc les SPD doivent être caractérisés par $U_p < (0.9 U_w)/2$, de façon à s'assurer de ne pas dépasser U_w du dispositif à protéger même en présence de phénomènes d'oscillation.

Du point de vue normatif, on peut négliger la présence des surtensions induites dès lors que l'analyse de risque a exclu la nécessité d'installer un LPS ou que les câbles du système ont les caractéristiques suivantes:

- Câbles blindés
- Câbles posés en canalisation métallique
- Câbles cordés

Ces caractéristiques font partie des mesures préventives qui seront analysées par la suite.

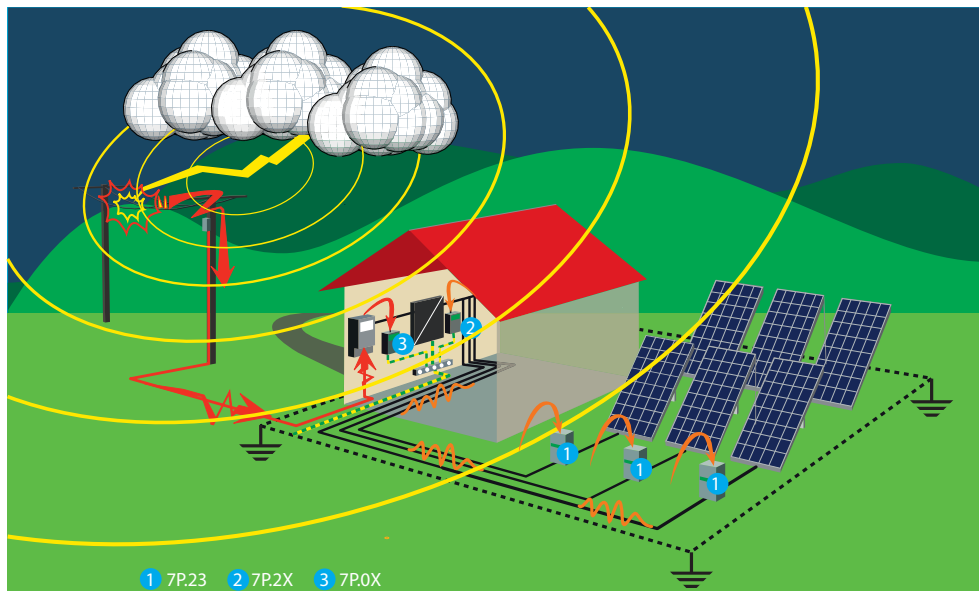


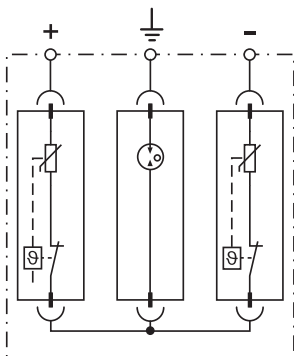
Figure 36: effets des SPD en coordination énergétique.

Protection coté DC

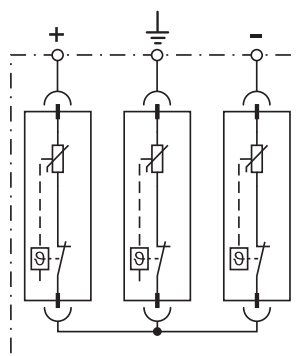
Ce qui suit fait référence uniquement aux installations sans LPS, en effet, comme nous l'avons vu précédemment, le LPS sera installé uniquement si l'analyse de risque le demande. Les coûts d'installation sont élevés et le LPS contribue à diminuer le rendement du champ photovoltaïque. Le "coté DC" d'une installation photovoltaïque sera sollicité par les surtensions induites par la foudre quand elle tombe à proximité.

Il faut préciser à ce point, qu'on ne peut pas installer des éclateurs en courant continu s'ils ne sont pas en série avec des varistors. En effet, étant donné que le courant continu ne passe jamais par zéro, lorsque l'arc est déclenché à l'intérieur de l'éclateur, il ne s'éteint plus sans l'aide d'un varistor qui, lorsque la surtension est terminée, retourne à une valeur de résistance élevée, limitant le courant et permettant ainsi l'extinction de l'arc dans l'éclateur.

Dans la figure ci-dessous, nous avons indiqué les deux solutions de câblage utilisées qui représentent un raccordement en "Y". On peut noter que l'éclateur est en série à un varistor par pôle.



Raccordement en Y avec l'éclateur vers la terre.



Raccordement en Y avec 3 varistors

La protection complète sur le côté DC s'obtient en installant des SPD de type 2 aux extrémités de la ligne, donc à proximité immédiate de l'onduleur et des modules photovoltaïques. Pour optimiser le travail, les câbles doivent être introduits dans des tubes métalliques, comme nous l'indiquerons plus loin dans les mesures préventives.

La protection idéale est faite en utilisant des câbles blindés, reliés à la terre aux 2 extrémités et en raccordant à la terre des SPD adéquats. En réalité, cependant, il est rare d'utiliser des câbles blindés en raison du coût élevé, donc, on a recours à l'utilisation des seuls SPD, même si l'onduleur est protégé par des SPD internes:

- 1) On ne connaît pas les valeurs nominales des SPD utilisés à l'intérieur de l'onduleur.
- 2) En cas de défaut des SPD internes (suite à une intervention), on doit appeler l'assistance pour la remise en service (pour ne pas perdre la garantie) avec l'inévitable arrêt de machine et le manque de production.

Les valeurs minimales que doivent avoir les SPD utilisés en protection des onduleurs et panneaux sont les suivantes:

- SPD Classe II
- $U_c \geq 1.2 NU_{ocstc}$
(1.2: coefficient de sécurité qui tient compte des variations de tension des panneaux dues aux variations de température)
N = nombre de panneaux qui composent le string
 U_{ocstc} = valeur de la tension à vide du panneau dans les conditions standards.
- $U_p < KU_w$ (K = 0.9 coefficient de sécurité qui tient compte du vieillissement du SPD)
 U_w = valeur de tenue au choc de l'onduleur)
- $I_{max} = 5$ kA (minimum de valeur acceptable)
- Capacité d'extinction du courant de court-circuit au point d'installation avec ou sans fusible.

La distance à laquelle doit être positionné le SPD de l'onduleur est en fonction de U_w , U_p , de la surface de la boucle des conducteurs photovoltaïques et du parcours suivi par PE. On conseille de mettre toujours le SPD le plus près possible de l'onduleur.

Le SPD est monté en amont de l'interrupteur de sectionnement et de manœuvre, parce que, si ce dernier est ouvert, le SPD protège l'onduleur, mais pas les modules.

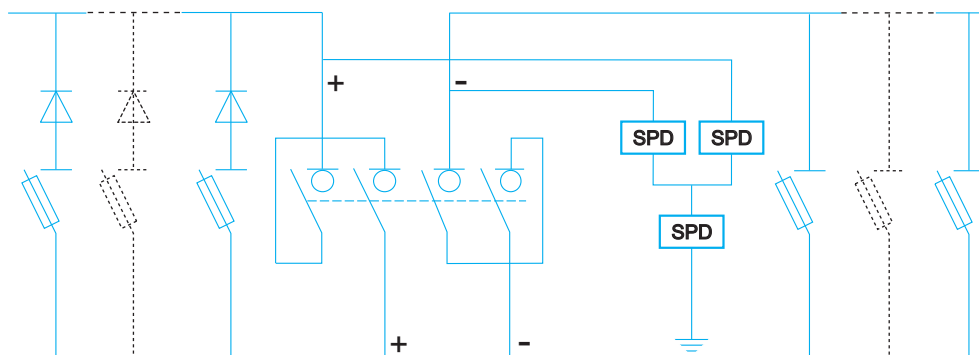
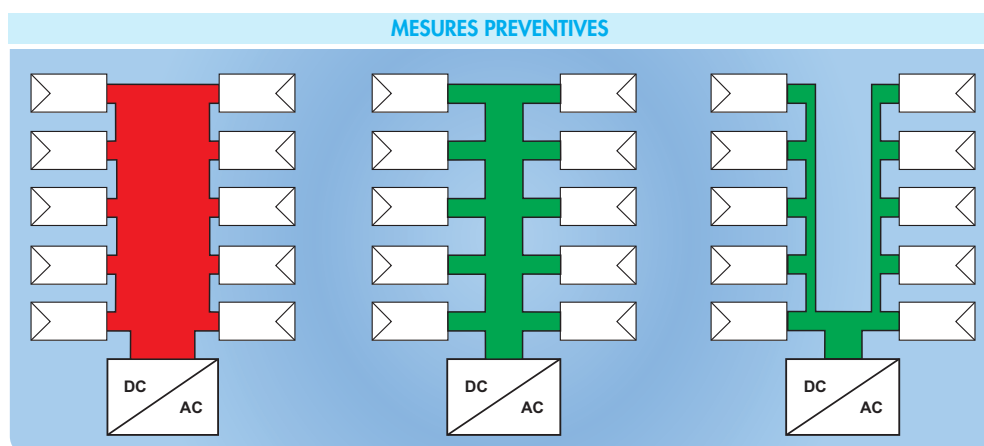


Figure 37: Installation de parafoudre en amont de l'interrupteur de manœuvre et de sectionnement

Mesures préventives

Elles concernent les précautions qui doivent être prises lors de la construction de l'installation et se basent sur les schémas et la miniaturisation des boucles:

- 1) Câbles blindés, théoriquement torsadés, canalisations métalliques, tubes etc... sont les schémas normalement utilisés.
- 2) Une bonne installation est basée sur la réalisation de spires avec un développement le plus faible possible. Le champ électromagnétique de la foudre, en frappant les conducteurs (photovoltaïque ou non) crée des surtensions proportionnelles aux dimensions de la spire.



La surtension dans la surface rouge est plus importante que dans les surfaces vertes, c'est pourquoi on essaie de réaliser des installations avec les configurations en vert, caractérisées par une spire inférieure en dimension par rapport à la surface rouge.

Les précautions décrites sont généralement coûteuses, donc peu appliquées. Les SPD, par contre, restent le système le plus économique et le plus efficace pour réaliser un système de protection contre les surtensions, surtout s'ils sont associés à une installation réalisée, évidemment, avec tous les arrangements nécessaires pour maximaliser les prestations.

Protection des SPD: fusibles ou magnétothermiques? prEN 50539-11

La demande la plus répandue est probablement celle relative à la protection des SPD pour les applications photovoltaïques. En général, les courants dans un string sont faibles et ceci conduit à penser de protéger le SPD avec des fusibles de petites tailles et des magnétothermiques avec de faibles courants nominaux afin d'être certain de leur intervention.

C'est un erreur, parce que cela décline le SPD et en limite fortement son pouvoir de protection. Les constructeurs européens sont en train de travailler à la norme produit relative aux SPD spécifiques au secteur photovoltaïque: **pr EN 50539-11**. Actuellement elle est en phase de vote au CENELEC. Le but d'un tel projet est la réalisation de produits caractérisés par des composants de qualité pour avoir à la fois des produits très fiables, plus simples à installer et surtout plus surs.

La norme 50539-11 prévoit des essais en laboratoire beaucoup plus sévères, spécialement dans la simulation du comportement en fin de vie du SPD (par vieillissement ou par surtension). Ces tests, nés de l'expérience pratique accumulée depuis plusieurs années sur de petits et grands systèmes photovoltaïques, ont conduit au développement et à la réalisation de nouveaux varistors plus performants de la part des constructeurs de composants, et à la réalisation de nouveaux disjoncteurs thermiques, pour les constructeurs de SPD.

La norme donc, introduit de nouveaux concepts et de nouvelles définitions que le technicien devra prendre en compte. Ces valeurs lorsqu'elles seront respectées, aideront à résoudre l'épineuse question de la protection de secours: les fusibles comme les magnétothermiques deviennent inutiles.

U_{cpv} : tension maximale continue (DC) qui peut être appliquée au SPD: elle peut être considérée comme la tension maximale générée par le string. Donnée spécifique aux systèmes photovoltaïques.

I_{cpv} : courant qui s'écoule entre les conducteurs + et - du string quand la tension U_{cpv} est présente. Donnée spécifique aux systèmes photovoltaïques.

I_{scpv} : courant maximum de court circuit au point d'installation des SPD. Donnée spécifique aux systèmes photovoltaïques.

I_{scwpv} : courant maximum de court circuit du générateur photovoltaïque que le SPD est en mesure de supporter; le disjoncteur thermique interne est en mesure de déconnecter sans problème le SPD en fin de vie jusqu'à I_{scwpv} .

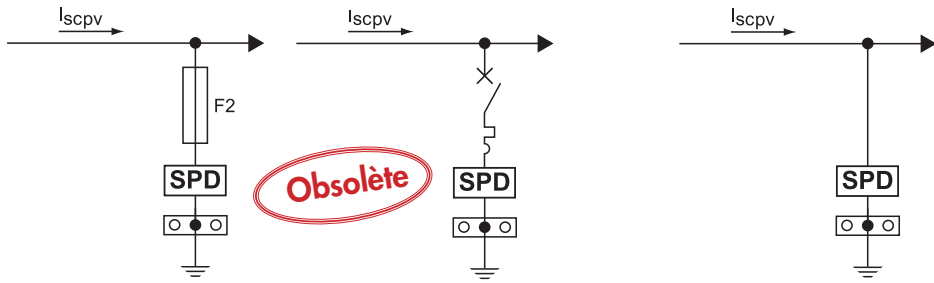
La norme demande au SPD d'être en mesure de supporter les valeurs de courants de décharges déclarées lors de l'application de la tension maximale continue U_{cpv} , sans que cela modifie ses caractéristiques. De plus en cas de défaut, le SPD devra être en mesure de supporter I_{scpv} sans créer de situation dangereuse.

Cela signifie que, par construction, le SPD est en mesure de supporter et de gérer le courant I_{scpv} .

Nous pouvons donc écrire la règle suivante:

Si le courant maximum de court circuit du string (I_{scpv}) est inférieur ou égal à I_{scwpv} le SPD peut être installé directement entre les conducteurs distincts (+ et -) sans installer aucun autre système de protection de secours tels que les fusibles ou interrupteurs automatiques.

Généralement les valeurs I_{scwpv} sont élevées, par exemple les SPD Finder ont des valeurs de I_{scwpv} comprises entre 63 et 125 A, selon la tension du système photovoltaïque.



Critères obsolètes de protection des SPD

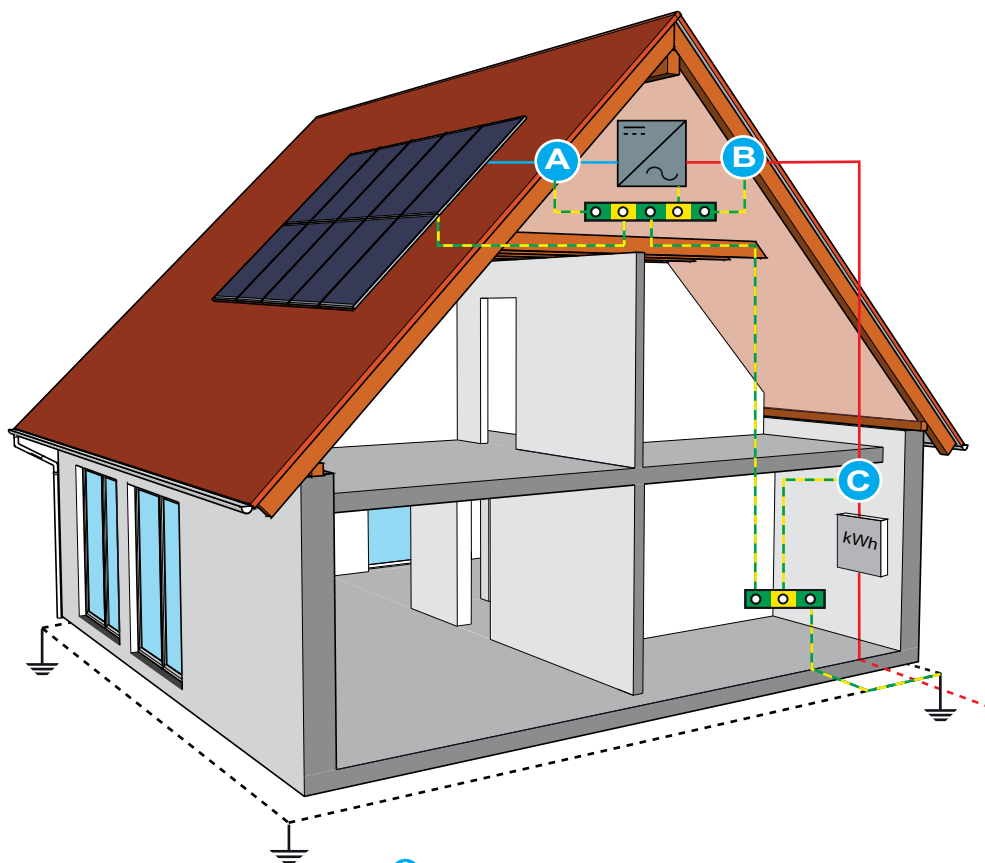
Nouveau critère d'installation des SPD

Nota: au moment de l'écriture du texte, la norme est encore en projet, donc les définitions pourraient subir encore quelques modifications.

On invite le lecteur à faire de lui-même les corrections éventuelles.

Exemple d'installation: Annexe 1

Installation photovoltaïque domestique, onduleur sous le toit.

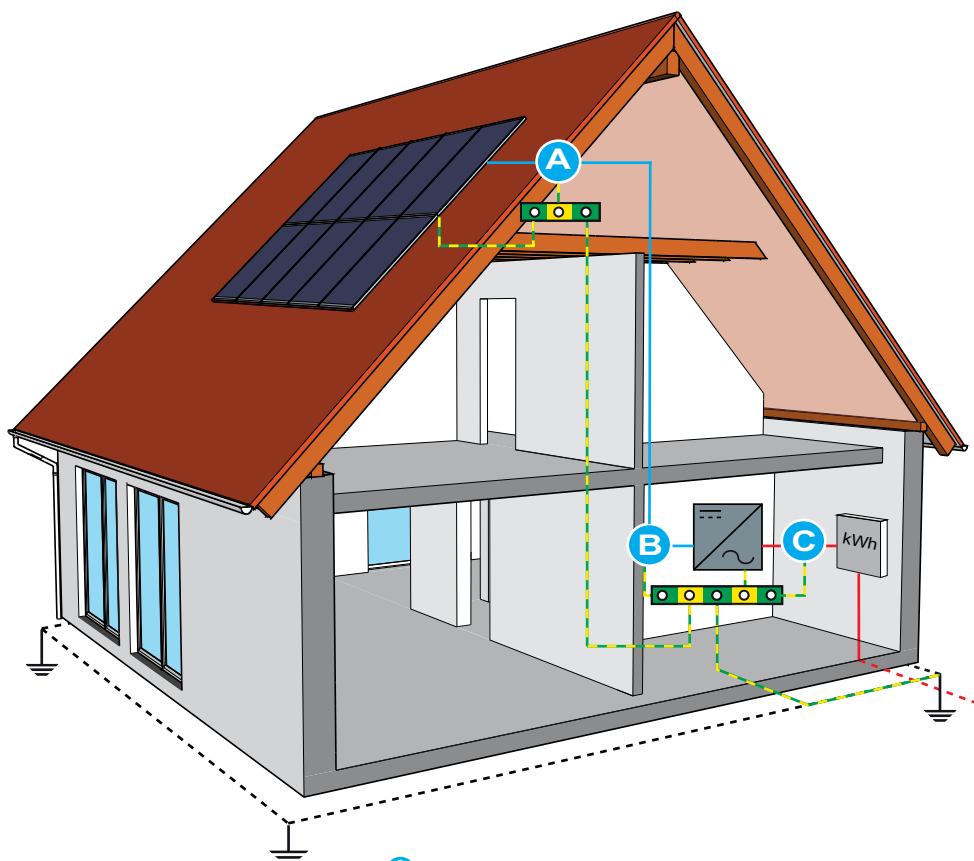


- A** 7P.23.9.700.1020
(700 V - type 2)
7P.23.9.000.1020
(1000 V - type 2)
- B** 7P.22.8.275.1020
(monophasé - type 2)
- C** 7P.12.8.275.1012
(monophasé - type 1+2)
7P.02.8.260.1025
(monophasé - type 1+2)

Suite à l'adaptation à la nouvelle norme EN 50539-11, les parafoudres pourront subir une évolution de leur code.

Exemple d'installation: Annexe 2

Installation photovoltaïque domestique, onduleur dans le sous-sol.



A 7P.23.9.700.1020
(700 V - type 2)
7P.23.9.000.1020
(1000 V - type 2)

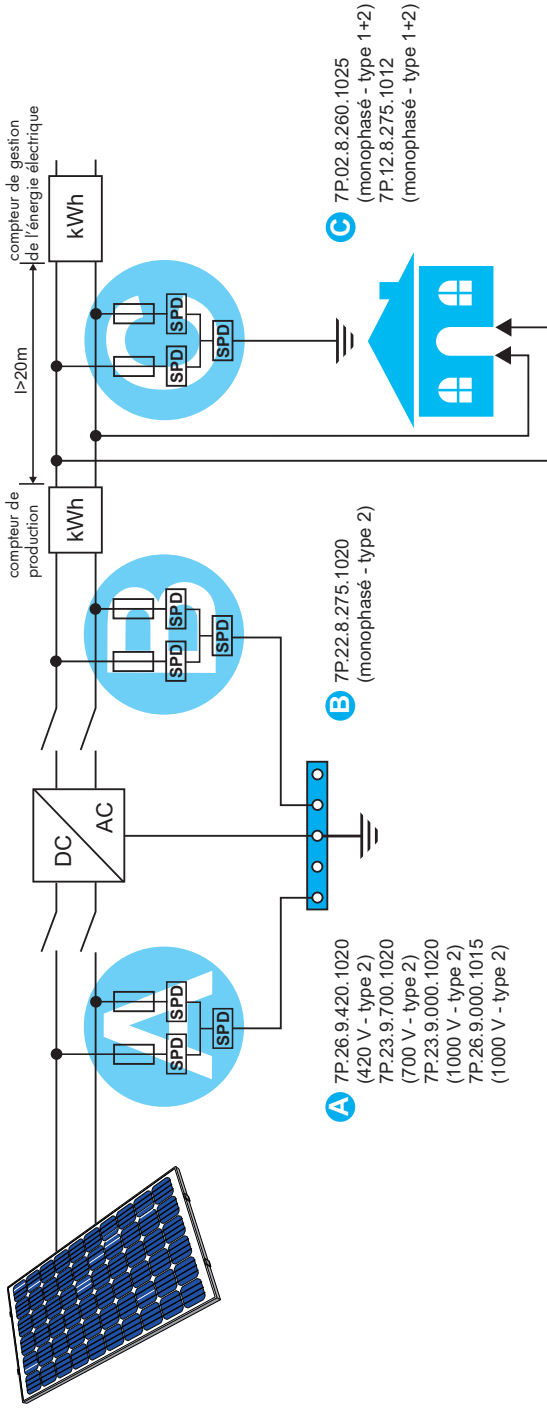
B 7P.23.9.700.1020
(700 V - type 2)
7P.23.9.000.1020
(1000 V - type 2)

C 7P.12.8.275.1012
(monophasé - type 1+2)
7P.02.8.260.1025
(monophasé - type 1+2)

Suite à l'adaptation à la nouvelle norme EN 50539-11, les parafoudres pourront subir une évolution de leur code.

Exemple d'installation: Annexe 3

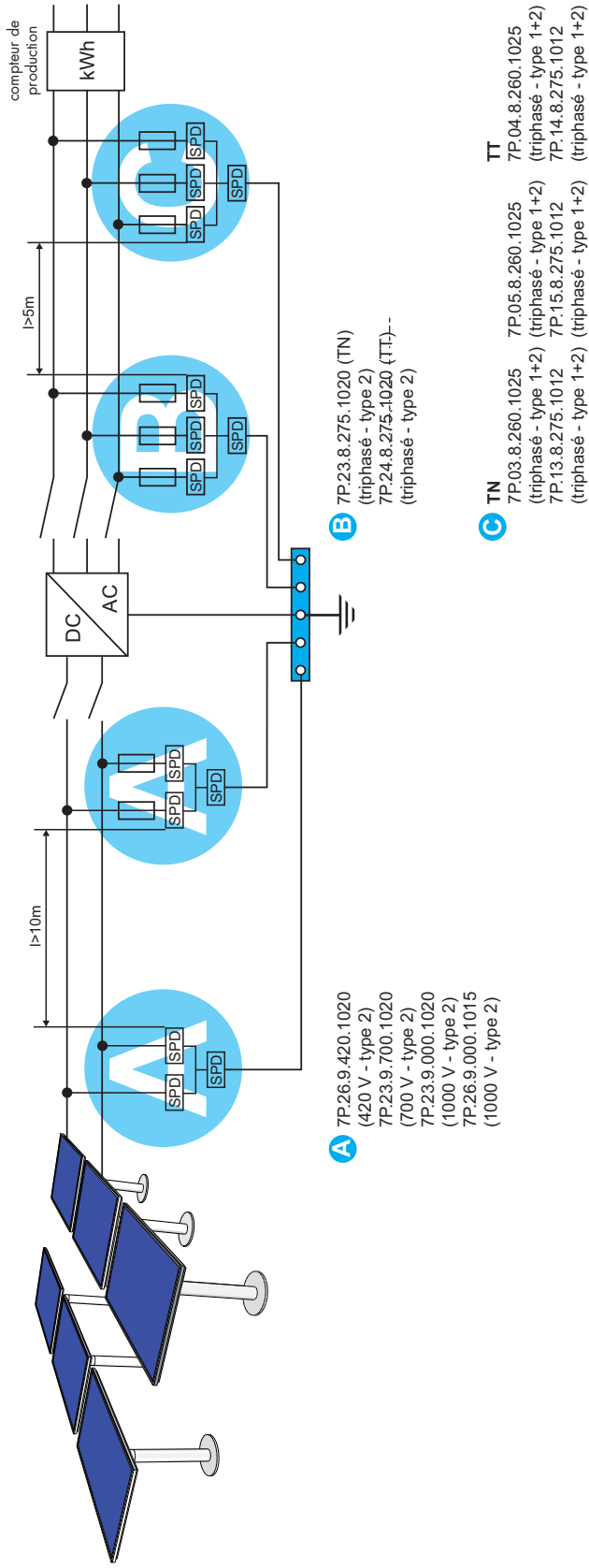
Installation photovoltaïque de faible puissance placée en toiture.



Suite à l'adaptation à la nouvelle norme EN 50539-11, les parafoudres pourront subir une évolution de leur code.

Exemple d'installation: Annexe 4

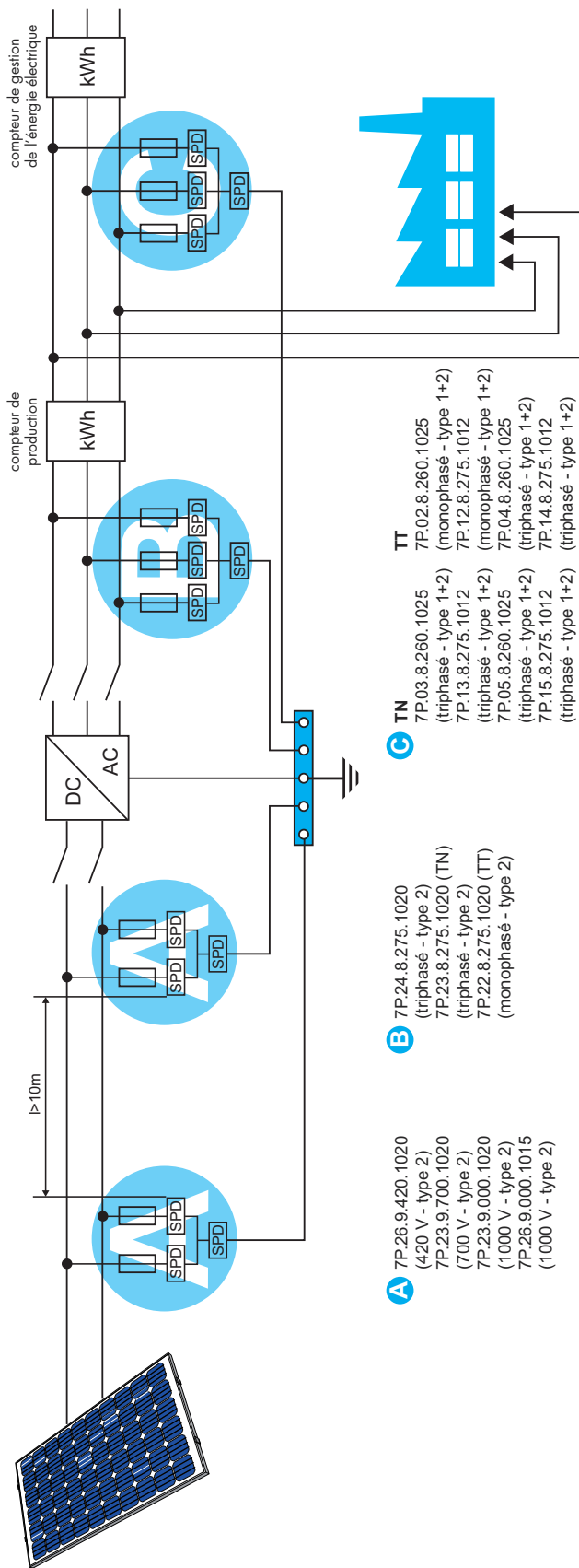
Installation photovoltaïque, installation à terre.



Suite à l'adaptation à la nouvelle norme EN 50539-11, les parafoudres pourront subir une évolution de leur code.

Exemple d'installation: Annexe 5

Installation photovoltaïque de moyenne et grande puissance installée en toiture.



Suite à l'adaptation à la nouvelle norme EN 50539-11, les parafoudres pourront subir une évolution de leur code.

Finder constructeur de relais et temporisateurs depuis 1954



En 1954 naît Finder à Almese (Turin)
Depuis sa création, l'entreprise a
concentré toute son énergie dans la
production de relais, relais temporisés
et appareillage pour applications
tertiaires et bâtiment.

Aujourd'hui Finder est le producteur
qui a le plus d'homologations dans
sa catégorie.



Le système qualité de l'entreprise
Finder est certifié selon les normes
ISO 9001 et ISO 14001.



En regard de son attention vis à vis
de l'environnement et aux normes en
vigueur, Finder peut certifier que tous
les produits du catalogue sont conformes
à la directive RoHS depuis 2006.

www.finder.fr

**Finder présente sa gamme 7P:
des parafoudres pour votre sécurité.**

7P.09.1.255.0100



7P.01.8.260.1025



7P.32.8.275.2003



7P.02.8.260.1025



7P.03.8.260.1025



7P.04.8.260.1025



7P.05.8.260.1025



7P.12.8.275.1012



7P.13.8.275.1012



7P.14.8.275.1012



7P.15.8.275.1012



7P.21.8.275.1020



7P.22.8.275.1020



7P.23.8.275.1020



7P.24.8.275.1020



7P.25.8.275.1020



7P.26.9.420.1020



7P.23.9.700.1020



7P.23.9.000.1020



7P26.9.000.1015





FINDER FRANCE Sarl
Avenue d'Italie - BP 40
Zone Ind. du Pré de la Garde
F-73302 ST. JEAN DE MAURIENNE Cédex
Tel. +33/479/83 27 27
Fax +33/479/59 80 04
finder.fr@finder.fr



FINDER GmbH
Hans-Böckler-Straße 44
D-65468 Trebur-Astheim
Tel. +49 / 6147/2033-0
Fax. +49 / 6147/2033-377
info@finder.de




S.P.R.L. FINDER BELGIUM B.V.B.A.
Bloemendaal, 5
B - 1547 BEVER
Tel. +32/54/30 08 68
Fax +32/54/30 08 67
finder.be@findernet.com



FINDER RELAIS NEDERLAND B.V.
Dukdalfweg 51
NL - 1041 BC AMSTERDAM
Tel. +31/20/615 65 57
Fax +31/20/617 89 92
finder.nl@findernet.com



FINDER PLC
Opal Way - Stone Business Park
STONE, STAFFORDSHIRE,
ST15 0SS - UK
Tel. +44 (0)1785 818100
Fax +44 (0)1785 815500
finder.uk@findernet.com



FINDER RELAIS VERTRIEBS GmbH
Industriezentrum NÖSüd
Straße 2a, Objekt M40
A - 2351 WIENER NEUDORF
Tel. +43/2236/86 41 36 - 0
Fax +43/2236/86 41 36 - 36
finder.at@findernet.com



FINDER AB
Skrugatan 5
SE - 211 24 Malmö
Tel: +46 40 93 77 77
Fax: +46 40 93 78 78
finder.se@findernet.com



FINDER CZ, s.r.o.
Hostivařská 92/6
CZ - 102 00 PRAHA 10
Tel. +420/286 889 504
Fax +420/286 889 505
finder.cz@findernet.com



FINDER ApS
Postbox 26
DK - 2770 Kastrup
Tel. +45 60 22 44 77



FINDER-Hungary Kereskedelmi Kft.
HU - 1046 BUDAPEST
Kiss Ernő u. 1-3.
Tel. +36/1-369-30-54
Fax +36/1-369-34-54
finder.hu@findernet.com




FINDER ELÉCTRICA S.L.U.
Pol. Ind. La Pobra L'Eliana, C/ Severo Ochoa, s/n
E-46185 La Pobra de Vallbona (VALENCIA)
Dirección Postal Aptdo 234
Tel. +34-96 272 52 62
Fax +34-96 275 02 50
finder.es@findernet.com




FINDER (SCHWEIZ) AG
Industriestrasse 1a, Postfach 23
CH - 8157 DIELSDORF (ZH)
Tel. +41 44 885 30 10
Fax +41 44 885 30 20
finder.ch@finder-relais.ch



FINDER PORTUGAL, LDA
Travessa Campo da Telheira, n° 56
Vila Nova da Telha,
P - 4470 - 828 - MAIA
Tel. +351/22 99 42 900 - 1 - 6 - 7 - 8
Fax +351/22 99 42 902
finder.pt@finder.pt



FINDER RELAYS, INC.
4191 Capital View Drive
Suwanee, GA 30024 - U.S.A.
Tel. +1/770/271-4431
Fax +1/770/271-7530
finder.us@findernet.com



FINDER ECHIPAMENTE srl
Str. Clujului nr. 75 F,
401180 TURDA
jud. CLUJ - ROMANIA
Tel. +40 264 403 888
Fax +40 264 403 889
finder.ro@finder.ro



RELEVADORES FINDER, S.A. de C.V.
Calle 2 Sur 1003-C
Chipilo de Francisco Javier Mina
C.P. 74325 Chipilo, Puebla - MEXICO
Tel. +52/222/2832392 - 3
Fax +52/222/2832394
finder.mx@findernet.com



FINDER COMPONENTES LTDA.
Rua Olavo Bilac, 326
Bairro Santo Antonio
São Caetano do Sul - SÃO PAULO
CEP 09530-260 - BRASIL
Tel. +55/11/2147 1550
Fax +55/11/2147 1590
finder.br@findernet.com



FINDER OOO
Electrozavodskaya street 24-1
107023 MOSCOW
RUSSIAN FEDERATION
Tel. +7/495/229 4929
Fax +7/495/229 4942
finder.ru@findernet.com



FINDER ARGENTINA
Calle Martin Lezica, 3079
San Isidro - Buenos Aires
CP B1642GJA - ARGENTINA
Tel. +54/11/5648.6576
Fax +54/11/5648.6577
finder.ar@findernet.com



FINDER ASIA Ltd.
Room 901 - 903, 9F, Premier Center,
20 Cheung Shun Street, Cheung Sha Wan,
Kowloon, Hong Kong
Tel. +852 3188 0212
Fax +852 3188 0263
finder.hk@finder-asia.com