

4 Installation des parafoudres

Les connexions aux récepteurs d'un parafoudre doivent être les plus courtes possibles afin de réduire la valeur du niveau de protection en tension (U_p installé) aux bornes des équipements protégés. La longueur totale des connexions du parafoudre au réseau et au bornier de terre ne doit pas dépasser 50 cm.

4.1 Raccordement

Une des caractéristiques essentielles pour la protection d'un équipement est le niveau de protection en tension maximal (U_p installé), que l'équipement peut supporter à ses bornes. De ce fait, un parafoudre doit être choisi avec un niveau de protection U_p adaptée à la protection de l'équipement (voir Fig. J38). La longueur totale des conducteurs de connexion est $L = L_1 + L_2 + L_3$.

Pour les courants à haute fréquence, l'impédance linéique de cette connexion est de l'ordre de $1 \mu\text{H/m}$.

D'où, en appliquant la loi de Lenz à cette connexion : $\Delta U = L \text{ di/dt}$

L'onde courant normalisée $8/20 \mu\text{s}$, avec une amplitude de courant de $8 \text{ k}\hat{\text{A}}$, crée de ce fait une élévation de tension par mètre de câble de 1000 V .

$$\Delta U = 1 \times 10^{-6} \times 8 \times 10^3 / 8 \times 10^{-6} = 1000 \text{ V}$$

Par suite la tension aux bornes de l'équipement U_p installé est :

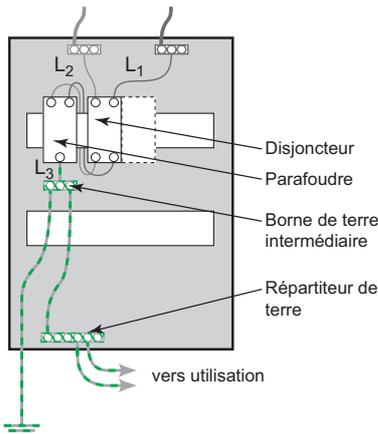


Fig. J39a : Exemple de raccordement en enveloppe plastique

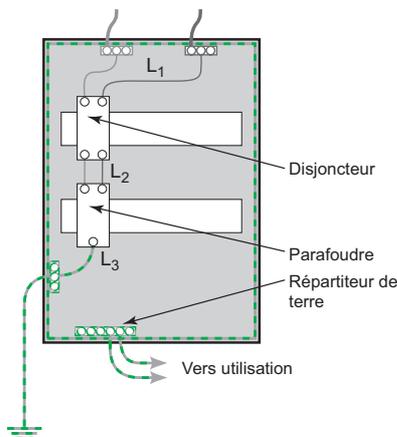


Fig. J39b : Exemple de raccordement en enveloppe métallique

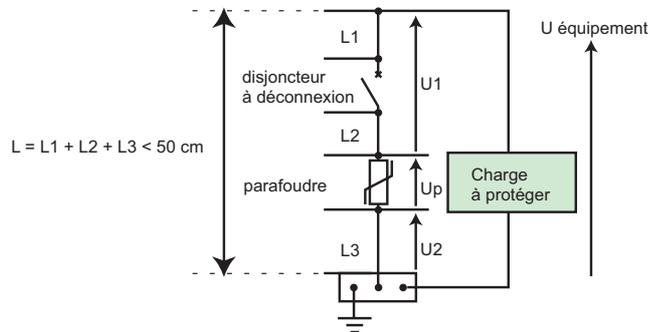


Fig. J38 : Connexions d'un parafoudre $L < 50 \text{ cm}$

$$U_p \text{ installé} = U_p + U_1 + U_2$$

Si $L_1 + L_2 + L_3 = 50 \text{ cm}$, l'onde $8/20 \mu\text{s}$ avec une amplitude de $8 \text{ k}\hat{\text{A}}$, la tension aux bornes de l'équipement sera de $U_p + 500 \text{ V}$

4.1.1 Raccordement enveloppe plastique

La figure J39a montre comment raccorder un parafoudre dans une enveloppe plastique

4.1.2 Raccordement en enveloppe métallique

Dans le cas d'un ensemble d'appareillage en enveloppe métallique, il peut être judicieux de raccorder directement à l'enveloppe métallique le parafoudre, l'enveloppe étant utilisée comme conducteur de protection (cf. Fig. J39b).

Cette disposition est conforme à la norme CEI 60439-1 et le constructeur de l'ensemble d'appareillage doit s'assurer que les caractéristiques de l'enveloppe permettent cette utilisation.

4.1.3 Section des conducteurs

La section minimale recommandée des conducteurs prend en compte :

- le service normal à assurer : écoulement de l'onde courant de foudre sous une chute de tension maximale (règle des 50 cm).

Note : contrairement aux applications à 50 Hz, le phénomène de foudre étant à haute fréquence, l'augmentation de la section des conducteurs ne diminue pas notablement son impédance haute fréquence.

- la tenue aux courants de courts-circuits des conducteurs : le conducteur doit tenir un courant de court-circuit pendant le temps maximal de coupure de la protection. La CEI 60364 préconise en tête d'installation une section minimale de :

- 4 mm^2 (Cu) pour le raccordement des parafoudres de type 2,
- 16 mm^2 (Cu) pour le raccordement des parafoudres de type 1 (présence de paratonnerre).

4.2 Règles de câblage

■ Règle 1 :

La première règle à respecter est que la longueur des connexions du parafoudre entre le réseau (au travers du dispositif de déconnexion) et le bornier de terre ne dépasse pas 50 cm.

La **Figure J40** montre les 2 possibilités de raccordement d'un parafoudre.

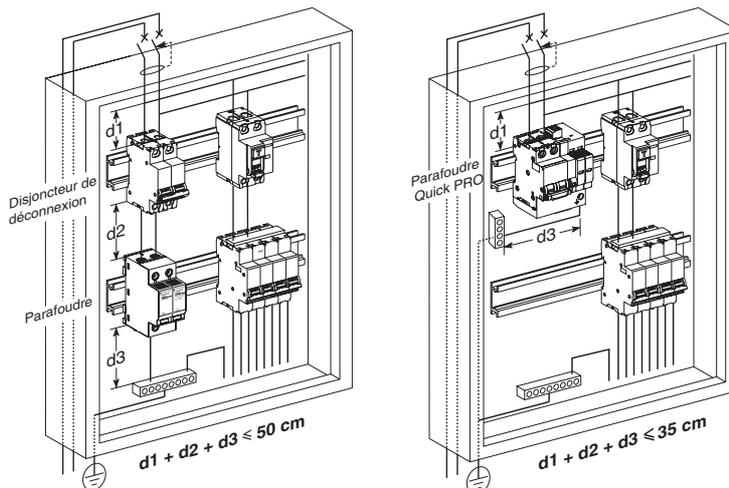


Fig. 40 : Parafoudre avec dispositif de déconnexion séparé ou intégré

Règle 2

Les conducteurs des départs protégés :

- doivent être connectées aux bornes mêmes du dispositif de déconnexion ou du parafoudre,
 - doivent être séparés physiquement des conducteurs d'arrivée pollués.
- Ils sont placés à la droite des bornes du parafoudre et du dispositif de déconnexion (cf. **Fig. J41**).

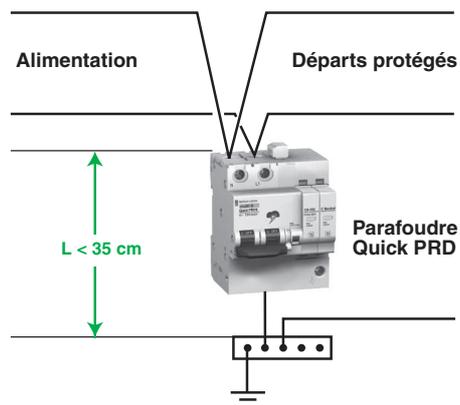


Fig. 41 : Les connexions des départs protégés sont à droite des bornes du parafoudre

4 Installation des parafoudres

■ Règle 3

Les conducteurs de phase, de neutre et de protection (PE) de l'arrivée doivent cheminer les uns contre les autres afin de réduire la surface de la boucle (cf. Fig. J40).

■ Règle 4

Les conducteurs d'arrivée du parafoudre doivent être éloignés des conducteurs de sortie protégés afin d'éviter de les polluer par couplage (cf. Fig. J40).

■ Règles 5

Les câbles doivent être plaqués contre les parties métalliques de l'armoire afin de minimiser la surface de la boucle de masse et donc de bénéficier d'un effet d'écran vis-à-vis des perturbations EM.

Dans tous les cas, il faut vérifier que les masses des armoires ou des coffrets sont mises à la terre par des connexions très courtes.

Enfin, si des câbles blindés sont utilisés, les grandes longueurs doivent être proscrites car elles réduisent l'efficacité du blindage (cf. Fig. J42).

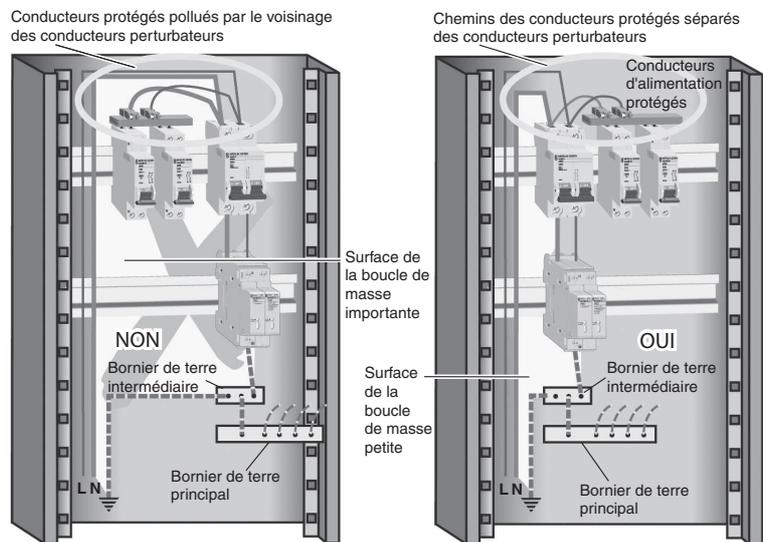


Fig. 42 : Exemple d'amélioration de la CEM par réduction des surfaces de boucle et de l'impédance commune au sein d'un coffret électrique

J27

5 Application

5.1 Exemples d'installation

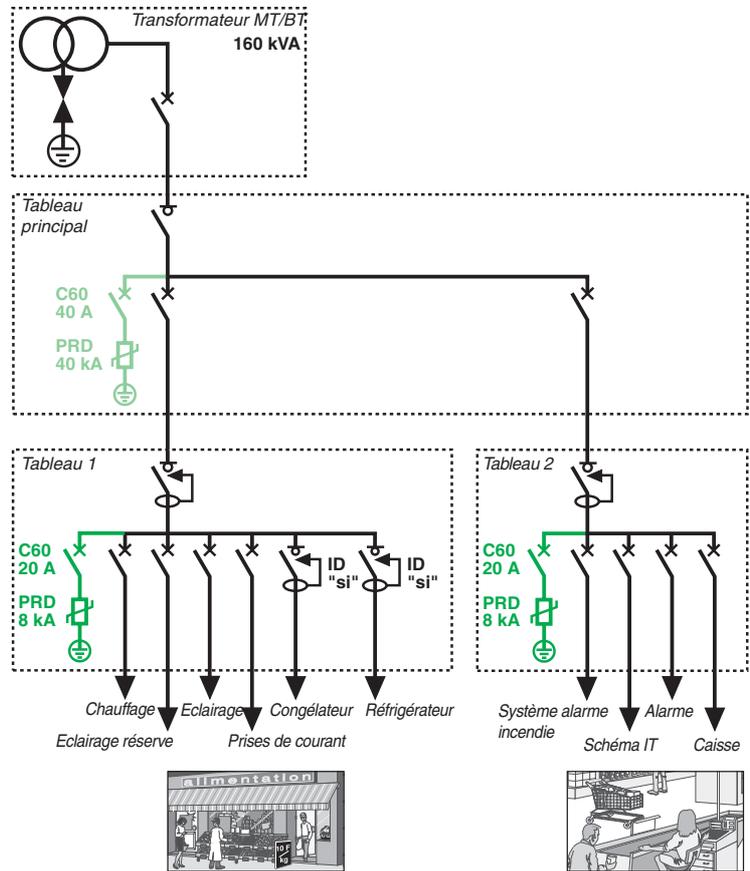


Fig. J43 : Exemple d'application : la supérette

Solutions et schémas de principe

- Le guide de choix des parafoudres a permis de déterminer la valeur exacte du parafoudre de tête d'installation et du disjoncteur de déconnexion associé.
- Les équipements sensibles (Uchoc < 1,5 kV) étant situés à plus de 30 m de la protection de tête, il faut placer les parafoudres de protection fine au plus près des récepteurs.
- Pour assurer une meilleure continuité de service pour les zones chambre froide :
 - on utilisera des Interrupteurs différentiels immunisés du type «si» afin d'éviter tout déclenchement intempestif dû à la montée du potentiel de la terre au moment du passage de l'onde foudre.
- Pour assurer une protection contre les surtensions atmosphériques :
 - prévoir un parafoudre situé dans le TGBT (cf. Fig. 43),
 - installer un parafoudre de protection fine dans chaque tableau 1 et 2 alimentant les équipements sensibles situés à plus de 30 m du parafoudre de tête,
 - installer un parafoudre sur le réseau de télécommunication pour protéger les appareils alimentés du type alarme incendie, modem, téléphone, fax (cf. Fig. 44).

Conseils de câblage

- S'assurer de l'équipotentialité des masses et des terres du bâtiment.
- Réduire les surfaces de boucle constituées par les câbles d'alimentation.

Conseils d'installation

- Installer un parafoudre $I_{max} = 40 \text{ kA}$ (8/20 μs) et un disjoncteur de déconnexion C60 calibre 20 A.
- Installer des parafoudres de protection fine $I_{max} = 8 \text{ kA}$ (8/20) et les disjoncteurs de déconnexion associés C60 calibre 20 A.

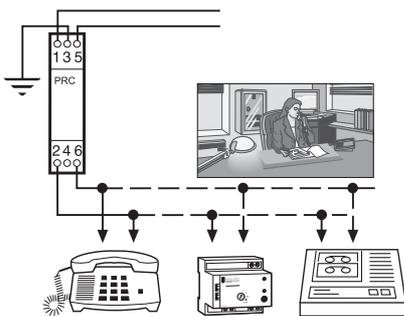


Fig. J44 : Réseau de télécommunication

6 Compléments techniques

6.1 Normes des protections foudre

La norme CEI 62305 parties 1 à 4 (NF EN 62305 parties 1 à 4) restructure et met à jour les publications des normes CEI 61024 (série), CEI 61312 (série) et CEI 61663 (série) sur les protections de foudre

■ **Partie 1 - Principe généraux :**

cette partie présente des généralités sur la foudre et ses caractéristiques, des données générales et elle introduit les autres documents.

■ **Partie 2 - Analyse du risque :**

cette partie présente l'analyse permettant de calculer le risque pour une structure et de déterminer les différents scénarios de protection afin de permettre une optimisation technico-économique.

■ **Partie 3 - Dommages physiques sur les structures et risques humains :**

cette partie présente la protection contre les coups de foudre directs, incluant paratonnerre, conducteur de descente, prise de terre, équipotentialité et donc parafoudres d'équipotentialité (parafoudre de type 1).

■ **Partie 4 - Réseaux de puissance et de communication dans les structures :**

cette partie présente la protection contre les effets induits de la foudre, incluant le système de protection par parafoudres (parafoudre de type 2 et 3), les blindages de câbles, les règles d'installation des parafoudres, etc.

Cette série de normes est complétée

■ par la série de normes CEI 61643 pour la définition des produits parafoudres (voir sous-chapitre J2),

■ par la série des normes CEI 60364-4 et -5 pour la mise en œuvre des produits dans les installations électriques BT (voir sous-chapitre J3).

6.2 Les composants d'un parafoudre

Le parafoudre est principalement constitué (cf. **Fig. J45**) :

- 1) d'un ou de plusieurs composants non linéaires : la partie active (varistance, éclateur à gaz, ...),
- 2) d'un dispositif de protection thermique (déconnecteur interne) qui le protège contre un emballement thermique en fin de vie (parafoudre à varistance),
- 3) d'un indicateur qui signale la fin de vie du parafoudre, Certains parafoudres permettent le report à distance de cette indication,
- 4) d'un dispositif de déconnexion externe qui assure sa protection contre les courts-circuits (ce dispositif peut être intégré au parafoudre).

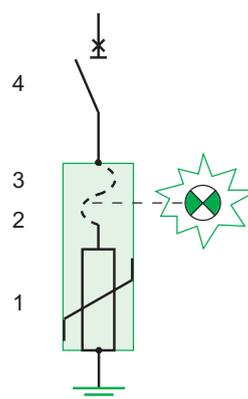


Fig. J45 : Schéma d'un parafoudre

6.2.1 Technologie de la partie active

Plusieurs technologies sont disponibles pour réaliser la partie active. Elles présentent chacune des avantages et des inconvénients :

- Les diodes Zener,
- L'éclateur à gaz (commandé ou non commandé),
- La varistance (à oxyde de zinc).

Le tableau ci-après présente les caractéristiques des technologies couramment employées.

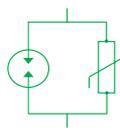
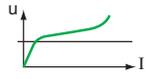
Composant	Eclateur à gaz	Eclateur encapsulé	Varistance (à oxyde de zinc)	Eclateur à gaz et varistance en série	Eclateur encapsulé et varistance en parallèle
Caractéristiques					
Fonctionnement	Coupure de tension	Coupure de tension	Limitation de tension	Coupure et limitation de tension en série	Coupure et limitation de tension en parallèle
Caractéristiques U/I					
Application	<ul style="list-style-type: none"> ■ Réseau télécom ■ Réseau BT (en association avec une varistance) 	Réseau BT	Réseau BT	Réseau BT	Réseau BT
Type de parafoudre	Type 2	Type 1	Type 1 ou Type 2	Type 1+ Type 2	Type 1+ Type 2

Fig. J46 : Tableau de synthèse des performances

Note : 2 technologies peuvent être installées dans le même parafoudre (cf. Fig. J47).

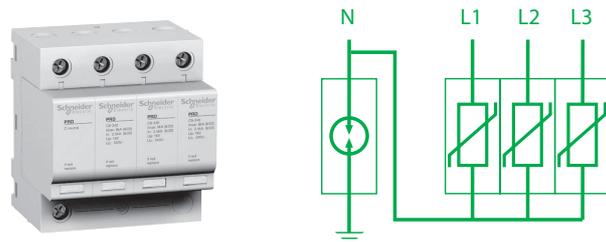


Fig. J47 : Le parafoudre PRD de marque Schneider Electric intègre un éclateur à gaz entre neutre et terre et des varistances entre phase et neutre

6 Compléments techniques

6.3 Signalisation fin de vie

Des indicateurs de fin de vie sont associés au déconnecteur interne et au dispositif de déconnexion externe du parafoudre pour informer l'utilisateur que les équipements ne sont plus protégés contre les surtensions d'origine atmosphérique.

Signalisation locale

La mise en œuvre d'indicateurs de fin de vie en local est généralement imposée par les règles d'installation.

La signalisation de la fin de vie est signalée par un indicateur (lumineux ou mécanique) au déconnecteur interne et/ou au dispositif de déconnexion externe. Lorsque le dispositif de déconnexion externe est réalisé par un appareillage à fusible, il est nécessaire de prévoir un fusible à percuteur et un socle équipé d'un système de déclenchement pour assurer cette fonction.

Disjoncteur de déconnexion intégré

L'indicateur mécanique et la position du maneton de commande permet naturellement la signalisation fin de vie.



Fig. J48 : Parafoudre Quick PRD 3P +N de marque Schneider Electric

6.3.1 Signalisation en local et report à distance

Les parafoudres Quick PRD de marque Schneider Electric sont de type «prêt à câbler» avec un disjoncteur de déconnexion intégré.

Signalisation en local

Les parafoudres Quick PRD (cf. Fig. J48) sont équipés d'indicateurs mécaniques d'état en local :

- l'indicateur mécanique (rouge) et la position du maneton du disjoncteur de déconnexion signalent la mise hors service du parafoudre,
- l'indicateur mécanique (rouge) sur chaque cartouche signale la cartouche en fin de vie.

Report à distance (cf. Fig. J49)

Les parafoudres Quick PRD sont équipés d'un contact de signalisation qui permet de signaler à distance :

- la fin de vie d'une cartouche,
- une cartouche manquante, et dès qu'elle a été remise en place :
- un défaut sur le réseau (court-circuit, déconnexion du neutre, inversion phase neutre),
- une manœuvre manuelle en local.

De ce fait, la surveillance à distance de l'état de fonctionnement des parafoudres installés permet de s'assurer que ces protections en état de veille sont toujours prêtes à fonctionner.

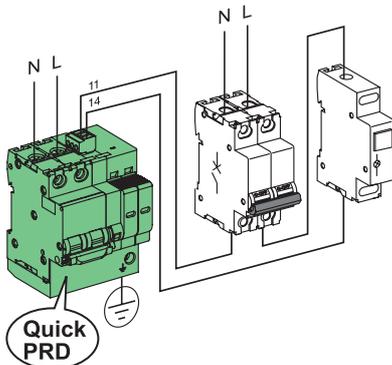


Fig. J49 : Installation de la signalisation lumineuse avec un parafoudre Quick PRD

6.3.2 Maintenance en fin de vie

Lorsque l'indicateur fin de vie signale la mise hors service, le remplacement du parafoudre (ou de la cartouche concernée) est nécessaire.

Dans le cas du parafoudre Quick PRD, la maintenance est facilitée :

- La cartouche en fin de vie (à remplacer) est facilement repérable par le service maintenance.
- La cartouche en fin de vie peut être remplacée en toute sécurité car un dispositif de sécurité interdit la fermeture du disjoncteur de déconnexion si une cartouche est manquante.

6.4 Caractéristiques détaillées du dispositif de déconnexion externe

6.4.1 Tenue aux ondes de courant

Les essais de tenue aux ondes de courant des dispositifs de déconnexion externe font ressortir les constats suivants :

- pour un calibre et une technologie donné (fusible NH ou cylindrique), la tenue à l'onde de courant est meilleure avec un fusible type aM (protection moteur) qu'avec un fusible de type gG (à usage général).
- pour un calibre donné, la tenue à l'onde de courant est meilleure avec un disjoncteur qu'avec un appareillage à fusible.

J31

La **figure J50** ci-dessous indique les résultats des essais de tenue à l'onde de tension :

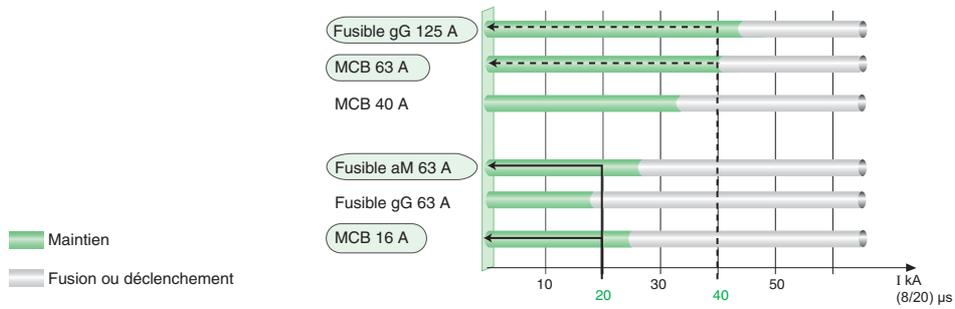


Fig. J50 : Comparaison des tenues à l'onde de tension pour un disjoncteur de 25 A et un fusible gG 63 A

6.4.2 Niveau de protection Up installé

D'une manière générale :

- La chute de tension aux bornes d'un disjoncteur est plus élevée que celle aux bornes d'un appareillage à fusibles. En effet, l'impédance des composants (déclencheurs thermiques et magnétiques) du disjoncteur est plus élevée que celle d'un fusible. Cependant

- la différence entre les chutes de tension reste faible pour des ondes de courants n'excédant pas 10 kA (95% des cas),
- le niveau de protection U_p installé prend aussi en compte l'impédance de câblage. Celle-ci peut être importante dans le cas d'une technologie fusible (dispositif de protection éloigné du parafoudre) et faible dans le cas de technologie disjoncteur (disjoncteur proche, et même intégré au parafoudre).

Note : Le niveau de protection U_p installé est la somme des chutes de tension :

- dans le parafoudre,
- dans le dispositif de déconnexion externe,
- dans le câblage des appareils.

6.4.3 Protection des courts-circuits impédants

Un court-circuit impédant dissipe beaucoup d'énergie et doit être éliminé très rapidement pour éviter des dommages à l'installation et au parafoudre.

La **figure J51** compare le temps de réponse et la limitation en énergie d'une protection par fusible 63 A et un disjoncteur 25 A.

Ces 2 dispositifs de protection ont la même tenue à l'onde de courant 8/20 μ s (respectivement 27 kA et 30 kA).

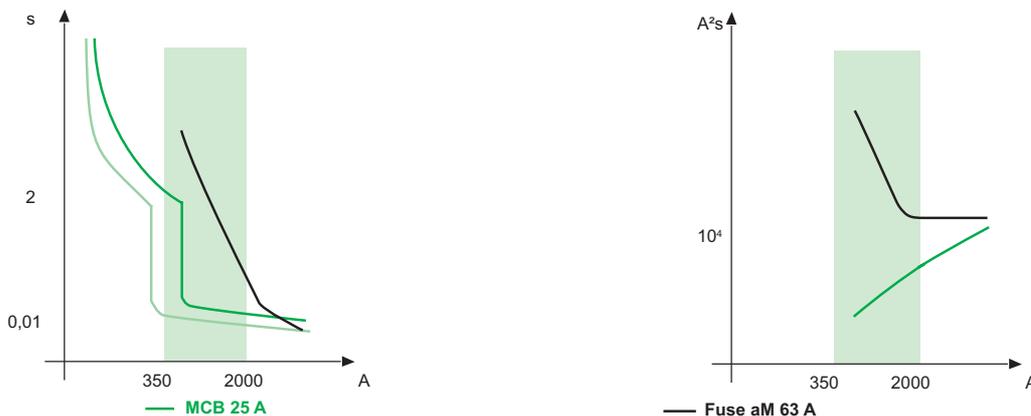


Fig. J51 : Comparaison des courbes temps/courant d'un disjoncteur et d'un fusible ayant les mêmes tenues à l'onde de courant 8/20 μ s et comparaison des limitations en énergie d'un disjoncteur et d'un fusible ayant les mêmes tenues à l'onde de courant 8/20 μ s

6 Compléments techniques

6.5 Propagation d'une onde de foudre

Les réseaux électriques sont à basse fréquence et, de ce fait, la propagation de l'onde de tension est instantanée par rapport à la fréquence du phénomène : en tout point d'un conducteur, la tension instantanée est la même.

L'onde de foudre est un phénomène haute fréquence (quelques centaines de kHz au MHz) :

■ l'onde de foudre se propage le long d'un conducteur à une certaine vitesse par rapport à la fréquence du phénomène. De ce fait, à un instant donné, la tension n'a pas la même valeur en tout point du support (cf. **Fig. J52**).

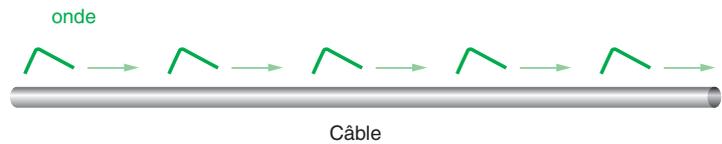
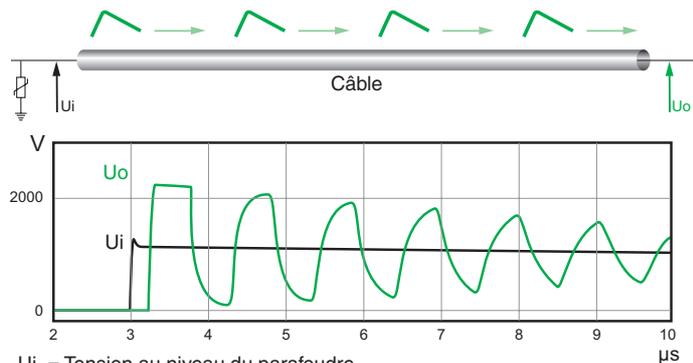


Fig. J52 : Propagation d'une onde foudre dans un conducteur

- un changement de support crée un phénomène de propagation et/ou de réflexion de l'onde dépendant
 - de la différence d'impédance entre les deux supports,
 - de la fréquence de l'onde progressive (raideur du temps de montée en cas d'une impulsion),
 - de la longueur du support.
- En particulier en cas de réflexion totale, la valeur de la tension peut doubler.

Exemple cas de la protection par parafoudre

La modélisation du phénomène appliquée à une onde de foudre et les essais en laboratoire ont montré qu'une charge alimentée par 30 m de câble protégé en amont par un parafoudre à la tension U_p subit du fait des phénomènes de réflexion une tension maximale de $2 \times U_p$ (cf. **Fig. J53**). Cette onde de tension n'est pas énergétique.



U_i = Tension au niveau du parafoudre
 U_o = Tension à l'extrémité du câble

Fig. J53 : Réflexion d'une onde foudre à l'extrémité d'un câble

J33

Action corrective

Des 3 paramètres (différence d'impédance, fréquence, distance), le seul que l'on puisse réellement maîtriser est la longueur de câble entre le parafoudre et le récepteur à protéger. Plus cette longueur est grande, plus la réflexion est importante. En général pour les fronts de surtensions rencontrés dans un bâtiment, les phénomènes de réflexion sont importants à partir de 10 m et peuvent doubler la tension à partir de 30 m (cf. Fig. J54).

Il est nécessaire d'installer un deuxième parafoudre en protection fine si la longueur de câble excède 10 m entre le parafoudre de tête et l'équipement à protéger.

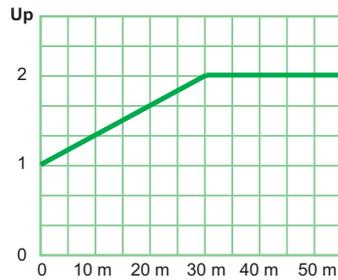


Fig. J54 : Tension maximale à l'extrémité d'un câble à vide en fonction de la longueur du câble pour un front de tension incident de 4kV/μs

6.6 Exemple de courant de foudre en mode différentiel en schéma TT

Un parafoudre bipolaire est installé en mode commun pour protéger l'installation (cf. Fig. J55).

La résistance R1 de la prise de terre de la mise à la terre du conducteur neutre au pylône est inférieure à celle R2 de la prise de terre des masses de l'installation BT. Le courant de foudre In circule à la terre via le chemin le moins résistif (prise de terre du pylône) soit, principalement, suivant le circuit ABCD. Il traverse de ce fait les varistances V1 et V2 en série créant une tension différentielle égale à deux fois la tension Up du parafoudre (Up1 + Up2). Cette tension apparaît entre les bornes A et C, c'est à dire entre phase et neutre à l'entrée de l'installation.

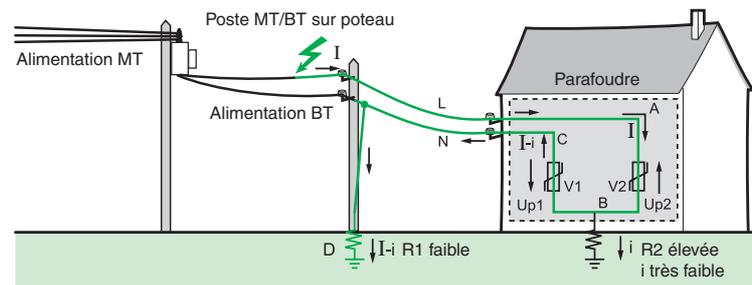


Fig. J55 : Protection seulement en mode commun

6 Compléments techniques

Pour protéger efficacement les charges entre phase et neutre, la tension du mode différentiel doit être réduite.

Un autre schéma de parafoudre est en outre possible (cf. **Fig. J56**).

Le courant de foudre I_n circule principalement suivant le circuit ABCD comme précédemment. La surtension de mode commun est éliminée par l'amorçage de l'éclateur à gaz et la tension de mode différentiel est limitée à la tension U_{p2} du parafoudre.

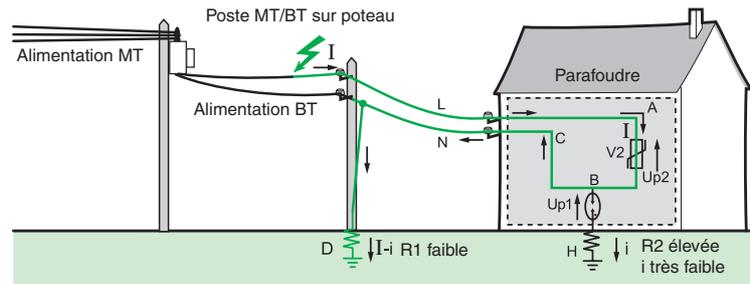


Fig. J56 : Protection en mode commun et différentiel

