

# Chapitre J

## La protection contre les surtensions

### Sommaire

<b>1</b>	<b>Caractéristiques des surtensions d'origine atmosphérique J2</b>	
	1.1 Généralité sur les surtensions	J2
	1.2 Caractéristiques des surtensions d'origine atmosphérique	J3
	1.3 Effets sur les installations électriques	J3
	1.4 Caractérisation de l'onde de foudre	J6
<b>2</b>	<b>Principe de la protection foudre J7</b>	
	2.1 Règles Générales	J7
	2.2 Système de protection du bâtiment	J7
	2.3 Système de protection de l'installation électrique	J9
	2.4 Le Parafoudre	J10
<b>3</b>	<b>Conception du système de protection de l'installation électrique J13</b>	
	3.1 Règle de conception	J13
	3.2 Eléments du système de protection	J14
	3.3 Caractéristiques communes des parafoudres suivant les caractéristiques de l'installation	J16
	3.4 Choix d'un parafoudre de type 1	J19
	3.5 Choix d'un parafoudre de type 2	J20
	3.6 Choix des dispositifs de déconnexion	J20
	3.7 Tableau de coordination parafoudre et dispositif de protection	J23
<b>4</b>	<b>Installation des parafoudres J25</b>	
	4.1 Raccordement	J25
	4.2 Règles de câblage	J26
<b>5</b>	<b>Application J28</b>	
	5.1 Exemples d'installation	J28
<b>6</b>	<b>Compléments techniques J29</b>	
	6.1 Normes des protections foudre	J29
	6.2 Les composants d'un parafoudre	J29
	6.3 Signalisation fin de vie	J30
	6.4 Caractéristiques détaillées du dispositif de protection externe	J31
	6.5 Propagation d'une onde de foudre	J33
	6.6 Exemple de courant de foudre en mode différentiel en schéma TT	J34

J1

# 1 Caractéristiques des surtensions d'origine atmosphérique

## 1.1 Généralité sur les surtensions

### 1.1.1 Différents types de surtension

Une surtension est une impulsion ou une onde de tension qui se superpose à la tension nominale du réseau (cf. Fig. J1).

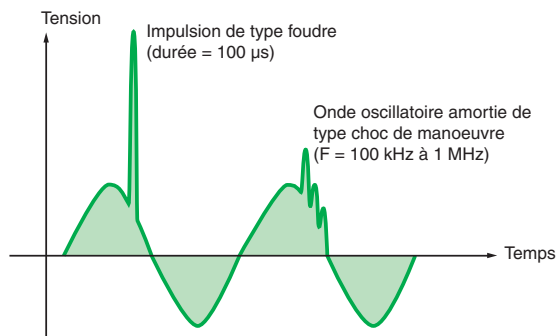


Fig. J1 : Exemple de surtensions

Ce type de surtension est caractérisé par (cf. Fig. J2) :

- le temps de montée  $t_f$  (en µs),
- la pente  $S$  (en kV/µs).

Une surtension perturbe les équipements et produit un rayonnement électromagnétique. En plus, la durée de la surtension ( $T$ ) cause un pic énergétique dans les circuits électriques qui est susceptible de détruire des équipements.

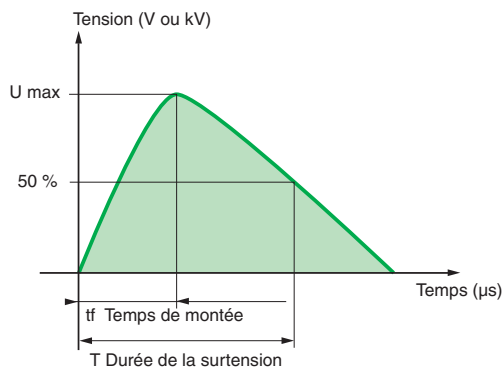


Fig. J2 : Principales caractéristiques d'une surtension

Quatre types de surtension peuvent perturber les installations électriques et les récepteurs :

- surtensions de manoeuvre : surtensions à haute fréquence ou oscillatoire amortie (cf. Fig. J1) causées par une modification du régime établi dans un réseau électrique (lors d'une manoeuvre d'appareillage).
- les surtensions à fréquence industrielle : surtensions à la même fréquence que le réseau (50, 60 ou 400 Hz) causées par un changement d'état permanent du réseau (suite à un défaut : défaut d'isolement, rupture conducteur neutre, ..).
- surtensions causées par des décharges électrostatiques. Surtensions à très haute fréquence très courtes (quelques nanosecondes) causées par la décharge de charges électriques accumulées (Par exemple, une personne marchant sur une moquette avec des semelles isolantes se charge électriquement à une tension de plusieurs kilovolts).
- surtensions d'origine atmosphérique.

# 1 Caractéristiques des surtensions d'origine atmosphérique

## 1.2 Caractéristiques des surtensions d'origine atmosphérique

Les coups de foudre en quelques chiffres : les éclairs produisent une énergie électrique impulsionnelle extrêmement importante (cf. Fig. J4)

- de plusieurs milliers d'ampères (et de plusieurs milliers de volts),
- de haute fréquence (de l'ordre du mégahertz),
- de courte durée (de la microseconde à la milliseconde).

Dans le monde, entre 2000 et 5000 orages sont constamment en formation. Ces orages sont accompagnés de coups de foudre qui constituent un sérieux risque pour les personnes et les matériels. Les éclairs frappent le sol à la moyenne de 30 à 100 coups par seconde, soit 3 milliards de coups de foudre chaque année. Le tableau de la **figure J3** indique les valeurs caractéristiques de foudroiement. Comme il peut être constaté, 50% des coups de foudre sont d'intensité supérieure à 33 kA et 5% d'intensité supérieure à 65 kA. L'énergie transportée par le coup de foudre est donc très élevée.

Probabilité cumulée %	Courant crête (kA)	Gradient (kA/μs)
95	7	9,1
50	33	24
5	65	65
1	140	95
0	270	

Fig. J3 : Valeurs des décharges de foudre données par la norme CEI 62305

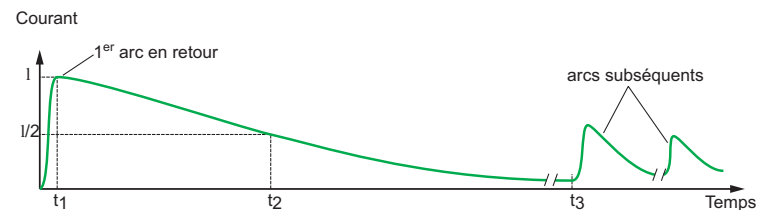


Fig. J4 : Exemple de courant de foudre

La foudre cause aussi un grand nombre d'incendies, la plupart en milieu agricole (détruisant les habitations ou les rendant hors d'usage). Les bâtiments de grande hauteur sont les bâtiments plus particulièrement foudroyés.

## 1.3 Effets sur les installations électriques

La foudre endommage particulièrement les installations électriques ou électroniques : les transformateurs, les compteurs électriques, les appareils électroménagers dans le résidentiel comme dans l'industrie.

Le coût de réparation des dommages causés par la foudre est très élevé. Mais il est très difficile d'évaluer les conséquences :

- des perturbations causées aux ordinateurs et aux réseaux de télécommunication,
- des défauts créés dans le déroulement de programme des automates ou dans les systèmes de régulation.

De plus les pertes d'exploitation peuvent avoir des coûts très supérieurs à ceux du matériel détruit.

J3

La foudre est un phénomène électrique à haute fréquence qui produit des surtensions sur tous les éléments conducteurs et particulièrement sur les câblages et les équipements électriques.

### 1.3.1 Impacts des coups de foudre

Les coups de foudre peuvent toucher les installations électriques (et/ou de communication) d'un bâtiment de deux manières :

- par impact direct du coup de foudre sur le bâtiment (a) (cf. Fig. J5 et Fig J6a),
  - par impact indirect du coup de foudre sur le bâtiment :
    - un coup de foudre peut tomber sur une ligne électrique aérienne alimentant le bâtiment (b) (cf. Fig. J5). La surintensité et la surtension peuvent se propager à plusieurs kilomètres du point d'impact.
    - un coup de foudre peut tomber à proximité d'une ligne électrique (c) (cf. Fig. J5 et Fig J6b). C'est le rayonnement électromagnétique du courant de foudre qui induit un fort courant et une surtension sur le réseau d'alimentation électrique.
- Dans ces deux derniers cas, les courants et les tensions dangereuses sont transmises par le réseau d'alimentation.
- un coup de foudre peut tomber à proximité du bâtiment (d) (cf. Fig. J6c). Le potentiel de terre autour du pont d'impact monte dangereusement.

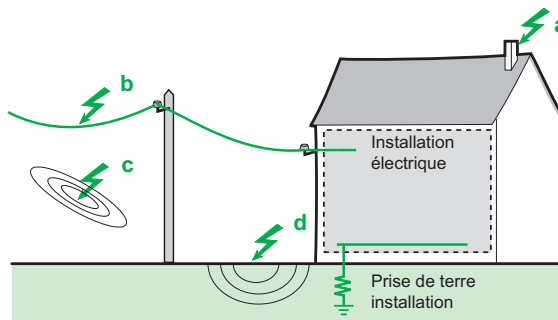


Fig. J5 : Les différents types d'impact de foudre

Dans tous les cas, les conséquences pour les installations électriques et les récepteurs peuvent être dramatiques.

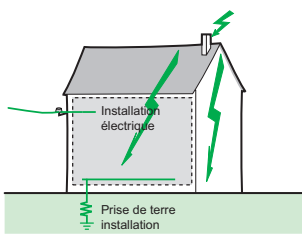
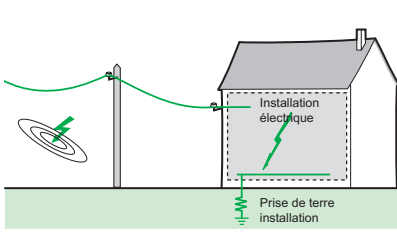
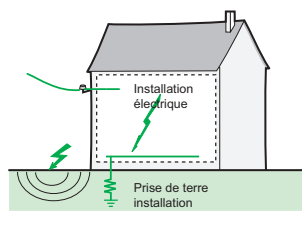
La foudre tombe sur une structure non protégée (cf. Fig. J6a).	La foudre tombe à proximité d'une ligne aérienne (cf. Fig. J6b).	La foudre tombe à proximité d'un bâtiment (cf. Fig. J6c)
 <p><b>Fig. J6a :</b> La foudre tombe sur un bâtiment non protégé</p> <p>Le courant de foudre s'écoule à la terre à travers les structures plus ou moins conductrices du bâtiment avec des effets très destructeurs :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ effets thermiques : échauffements très violents des matériaux provoquant l'incendie</li> <li>■ effets mécaniques : déformations de structures</li> <li>■ amorçages thermiques : phénomène particulièrement dangereux en présence de matières inflammables ou explosives (hydrocarbures, poussières...).</li> </ul> <p><b>Le bâtiment et les installations à l'intérieur du bâtiment sont généralement détruits</b></p>	 <p><b>Fig. J6b :</b> La foudre tombe à proximité d'une ligne aérienne</p> <p>Le courant de coup de foudre génère des surtensions par induction électromagnétique dans le réseau de distribution. Ces surtensions se propagent le long de la ligne jusqu'aux équipements électriques à l'intérieur des bâtiments.</p>	 <p><b>Fig. J6c :</b> foudre tombe à proximité d'un bâtiment</p> <p>Le coup de foudre génère les mêmes types de surtension qui sont décrits ci-contre. De plus, le courant de foudre remonte de la terre vers l'installation électrique provoquant ainsi le claquage des équipements.</p>
<p><b>Les installations électriques à l'intérieur du bâtiment sont généralement détruites.</b></p>		

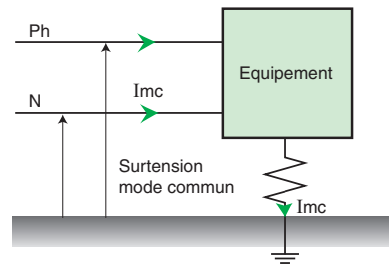
Fig. J6 : Conséquence de l'impact de la foudre

# 1 Caractéristiques des surtensions d'origine atmosphérique

## 1.3.2 Les différents modes de propagation

### ■ le mode commun

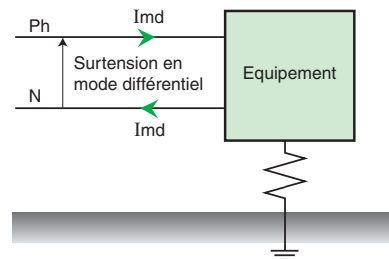
Les surtensions en mode commun apparaissent entre les conducteurs actifs et la terre : phase/terre ou neutre/terre (cf. **Fig. J7**). Elles sont dangereuses surtout pour les appareils dont la masse est connectée à la terre en raison des risques de claquage diélectrique.



**Fig. J7** : Le mode commun

### ■ le mode différentiel

Les surtensions en mode différentiel apparaissent entre conducteurs actifs phase/phase ou phase/neutre (cf. **Fig. J8**). Elles sont particulièrement dangereuses pour les équipements électroniques, les matériels sensibles de type informatique, etc.



**Fig. J8** : Le mode différentiel

J5

# 1 Caractéristiques des surtensions d'origine atmosphérique

## 1.4 Caractérisation de l'onde de foudre

L'analyse des phénomènes permet de définir les types d'ondes de courant et de tension de foudre.

- 2 types d'onde de courant sont retenus par les normes CEI :
- onde 10/350  $\mu\text{s}$  : pour caractériser les ondes de courants de coup de foudre direct (cf. Fig. J9),

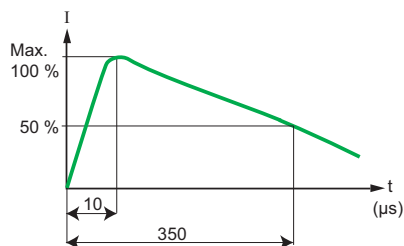


Fig. J9 : Onde de courant 10/350  $\mu\text{s}$

- onde 8/20  $\mu\text{s}$  : pour caractériser les ondes de courants de coup de foudre indirect (cf. Fig. J10).

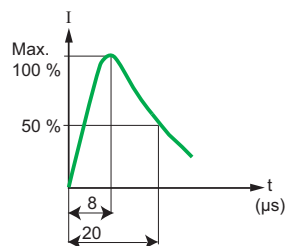


Fig. J10 : Onde de courant 8/20  $\mu\text{s}$

Ces 2 types d'onde de courant de foudre sont utilisés pour définir les essais des parafoudres (norme CEI 61643-11) et l'immunité des équipements aux courants de foudre. La valeur crête de l'onde de courant caractérise l'intensité du coup de foudre.

- Les surtensions créées par les coups de foudre sont caractérisées par une onde de tension 1,2/50  $\mu\text{s}$  (cf. Fig. J11).

Ce type d'onde de tension est utilisé pour vérifier la tenue des équipements aux surtensions d'origine atmosphérique (tension de choc suivant CEI 61000-4-5).

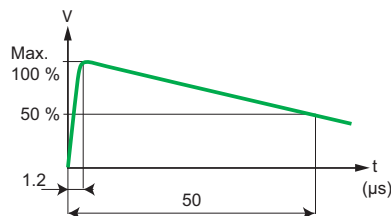


Fig. J11 : Onde de tension 1,2/50  $\mu\text{s}$

## 2 Principe de la protection foudre

### 2.1 Règles Générales

La système de protection d'un bâtiment contre les effets de la foudre doit comprendre :

- une protection des structures contre les coups de foudre directs,
- une protection de l'installation électrique contre les coups de foudre directs et indirects.

#### 2.1.1 Démarche pour prévenir les risques de foudroiement

Le principe de base de la protection d'une installation contre les risques de foudroiement consiste à empêcher l'énergie perturbatrice d'atteindre les équipements sensibles. Pour cela, il est nécessaire :

- de capter et de canaliser le courant de foudre vers la terre par le chemin le plus direct (en évitant la proximité des équipements sensibles),
- de réaliser l'équipotentialité de l'installation.

Cette liaison équipotentielle est réalisée par des conducteurs d'équipotentialité, complétée par des parafoudres ou par des éclateurs (éclateur de mât d'antenne par exemple).

- de minimiser les effets induits et indirects par la mise en œuvre de parafoudres et ou de filtres.

Deux systèmes de protection sont utilisés pour supprimer ou limiter les surtensions : ils sont désignés comme système de protection du bâtiment (à l'extérieur des bâtiments) et système de protection de l'installation électrique (à l'intérieur des bâtiments).

### 2.2 Système de protection du bâtiment

Le rôle du système de protection du bâtiment est de le protéger contre les coups de foudres directs.

Le système est composé :

- du dispositif de capture : le paratonnerre,
- des conducteurs de descente destinés à écouler le courant de foudre vers la terre,
- des prises de terre en patte d'oie reliées entre elles,
- des liaisons entre toutes les masses métalliques (réseau d'équipotentialité) et les prises de terre.

En effet, lors de l'écoulement du courant de foudre dans un conducteur, si des différences de potentiel apparaissent entre celui-ci et les masses reliées à la terre qui se trouvent à proximité, celles-ci peuvent entraîner des amorçages destructeurs.

#### 2.2.1 Les 3 types de paratonnerre

Trois types de protection du bâtiment sont utilisés :

- **Le paratonnerre à tige simple**

Le paratonnerre à tige est une pointe de capture métallique placée au sommet du bâtiment. Il est mis à la terre par un ou plusieurs conducteurs (souvent des bandes de cuivre) (cf. Fig. J12).

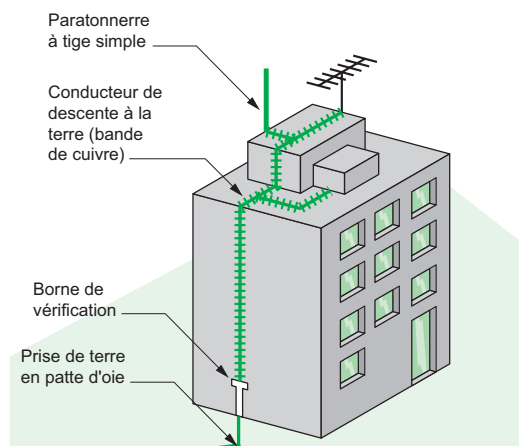


Fig. J12 : Protection par un paratonnerre à tige simple

■ **Le paratonnerre à fil tendu**

Ces fils sont tendus au dessus de la structure à protéger. Ils sont utilisés pour protéger des structures particulières : aires de lancement de fusées, applications militaires et protection des lignes aériennes à haute tension (cf. Fig. J13).

■ **Le paratonnerre à cage maillée (cage de Faraday)**

Cette protection consiste à multiplier de manière symétrique les conducteurs-rubans de descente tout autour du bâtiment. (cf. Fig. J14).

Ce type de paratonnerre est utilisé pour des bâtiments très exposés abritant des installations très sensibles comme des salles informatiques.

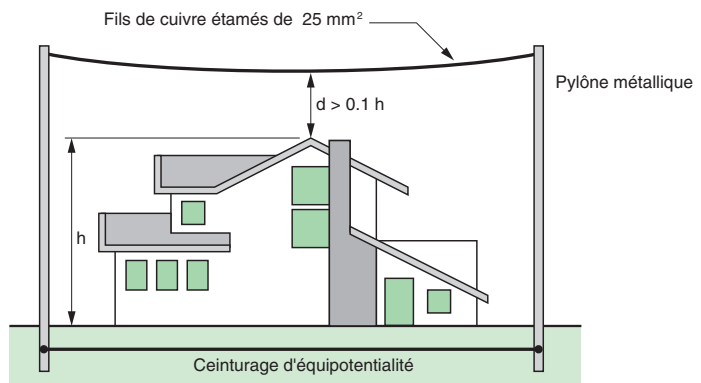


Fig. J13 : Exemple de protection contre la foudre par paratonnerre à fils tendus

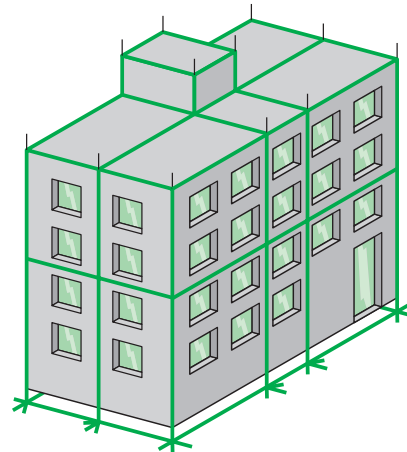


Fig. J14 : Exemple de protection contre la foudre utilisant le principe de la cage maillée (cage de Faraday)

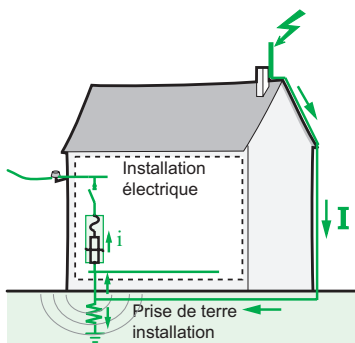


Fig. J15 : Retour de courant de foudre direct

**2.2.2 Incidence de la protection du bâtiment sur les équipements de l'installation électrique**

50% du courant de foudre écoulee par le système de protection du bâtiment remonte dans les réseaux de terre de l'installation électrique (cf. Fig. J15) : la montée en potentiel des masses dépasse très fréquemment la tenue des isolations des conducteurs des différents réseaux (BT, Télécommunications, câble vidéo, etc.). De plus, l'écoulement du courant à travers les conducteurs de descente génère des surtensions induites dans l'installation électrique.

En conséquence, le système de protection du bâtiment ne protège pas l'installation électrique : il est donc obligatoire de prévoir un système de protection de l'installation électrique.

## 2 Principe de la protection foudre

### 2.3 Système de protection de l'installation électrique

L'objectif principal du système de protection de l'installation électrique est de limiter les surtensions à des valeurs acceptables pour les équipements.

Le système de protection de l'installation électrique est composé :

- d'un ou de plusieurs parafoudres selon la configuration du bâtiment,
- du réseau d'équipotentialité : maillage métallique des masses et éléments conducteurs.

#### 2.3.1 Mise en œuvre

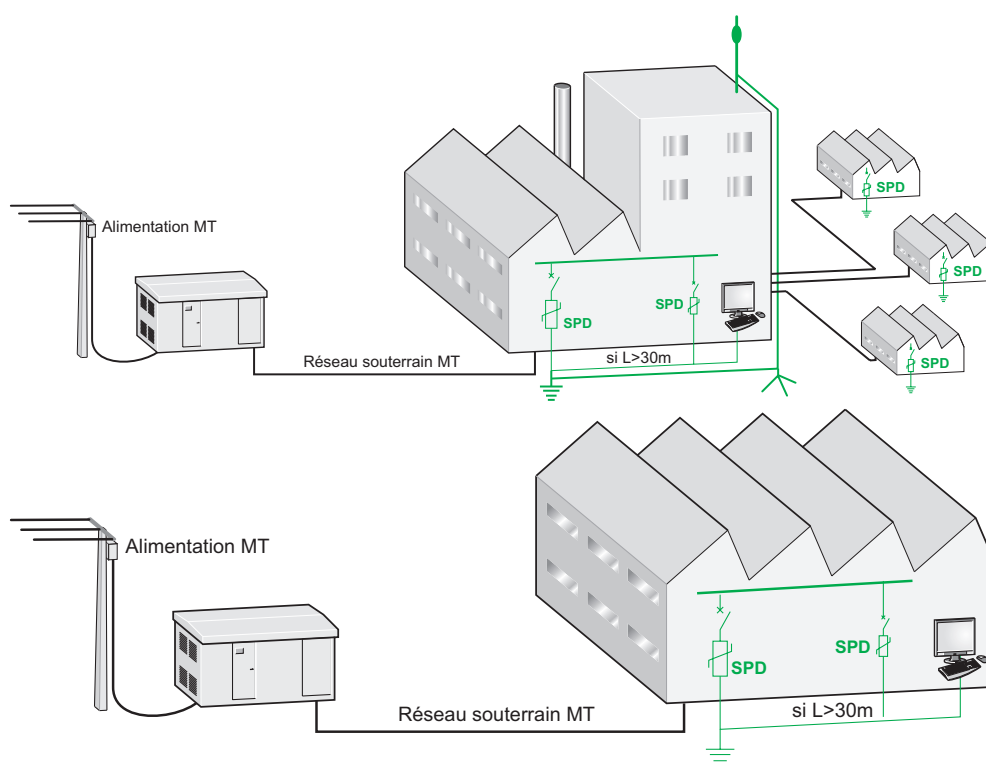
La démarche pour protéger les installations électriques et de communication d'un bâtiment est la suivante

##### Recherche d'information

- Identifier tous les récepteurs sensibles et leur localisation dans le bâtiment,
- Identifier les réseaux de puissance et de communication et leur point d'entrée respectif dans le bâtiment,
- Vérifier la présence éventuelle d'un paratonnerre sur le bâtiment ou à proximité,
- Prendre connaissance de la réglementation applicable à la situation du bâtiment,
- Evaluer le risque de foudroiement en fonction de la situation géographique, le type d'alimentation, la densité de foudroiement, ...

##### Mise en œuvre de la solution

- Réaliser l'équipotentialité des masses par un maillage,
- Installer un parafoudre dans le tableau d'arrivée BT,
- Installer un parafoudre complémentaire dans chaque tableau divisionnaire situé à proximité des équipements sensibles (cf. **Fig. J16**).



**Fig. J16** : Exemple de protection d'une installation électrique de grande dimension

## 2.4 Le Parafoudre

Les dispositifs de protection par parafoudre sont utilisés pour les réseaux d'alimentation électrique, les réseaux téléphoniques, les bus de communication ou d'automatisme.

Le parafoudre est un composant du système de protection de l'installation électrique. Ce dispositif est connecté en parallèle sur le circuit d'alimentation des récepteurs qu'il doit protéger (cf. Fig. J17). Il peut aussi être utilisé à tous les niveaux du réseau d'alimentation.

C'est le type de protection contre les surtensions le plus utilisé et le plus efficace.

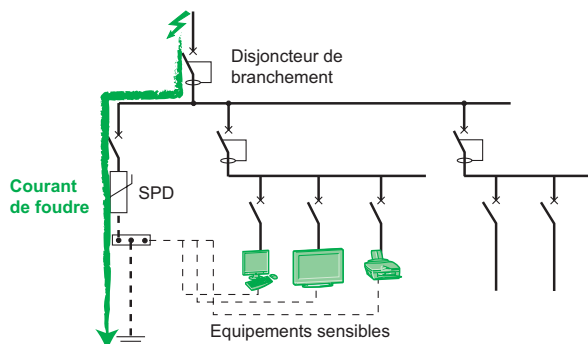


Fig. J17 : Principe de la protection en parallèle

### Principe

Le parafoudre est un dispositif destiné à limiter les surtensions transitoires d'origine atmosphérique et à dériver les ondes de courant vers la terre, afin de limiter l'amplitude de cette surtension à une valeur non dangereuse pour l'installation électrique et l'appareillage électrique.

Le parafoudre élimine les surtensions :

- en mode commun, entre phase et neutre ou terre,
- en mode différentiel, entre phase et neutre.

En cas de surtension supérieure au seuil de fonctionnement, le parafoudre

- conduit l'énergie à la terre, en mode commun,
- répartit l'énergie dans les autres conducteurs actifs, en mode différentiel.

### Les trois types de parafoudre :

#### ■ parafoudre de type 1

Le parafoudre de type 1 est préconisé dans le cas particulier des bâtiments tertiaires et industriels, protégés par un paratonnerre ou par une cage maillée.

Il protège l'installation électrique contre les coups de foudre directs. Il permet d'écouler le courant de foudre « en retour » se propageant du conducteur de terre vers les conducteurs du réseau

Les parafoudres de type 1 sont caractérisés par une onde de courant 10/350  $\mu$ s.

#### ■ parafoudre de type 2

Le parafoudre de type 2 est la protection principale de toutes les installations électriques basse tension. Installé dans chaque tableau électrique, il évite la propagation des surtensions dans les installations électriques et protège les récepteurs.

Les parafoudres de type 2 sont caractérisés par une onde de courant 8/20  $\mu$ s.

#### ■ parafoudre de type 3

Ces parafoudres possèdent une faible capacité d'écoulement. Ils sont donc obligatoirement installés en complément des parafoudres de type 2 et à proximité des récepteurs sensibles.

Les parafoudres de type 3 sont caractérisés par une combinaison des ondes de tension (1,2/50  $\mu$ s) et de courant (8/20  $\mu$ s).

## 2 Principe de la protection foudre

### ■ Définition normative des parafoudres

	Coup de foudre direct	Coup de foudre indirect	
CEI 61643-1	Classe I test	Classe II test	Classe III test
CEI 61643-11/2007	Type 1 : <b>T1</b>	Type 2 : <b>T2</b>	Type 3 : <b>T3</b>
EN/IEC 61643-11	Type 1	Type 2	Type 32
Former VDE 0675v	B	C	D
Type d'onde d'essais	10/350	8/20	1.2/50 +8/20

**Note 1 :** il existe des parafoudres **T1** + **T2** soit (B+C) combinant la protection des récepteurs contre les coups de foudre directs et indirects.

**Note 2 :** les parafoudres **T2** peuvent aussi être déclarés en **T3**.

**Fig. J18 :** Définition normative des parafoudres

### 2.4.1 Caractéristiques des parafoudres

La norme internationale CEI 61643-1 Edition 2.0 (03/2005) définit les caractéristiques et les essais des parafoudres connectés aux réseaux de distribution basse tension (cf. Fig. J19)

#### ■ caractéristiques communes

□  $U_c$  : tension maximale de service permanent

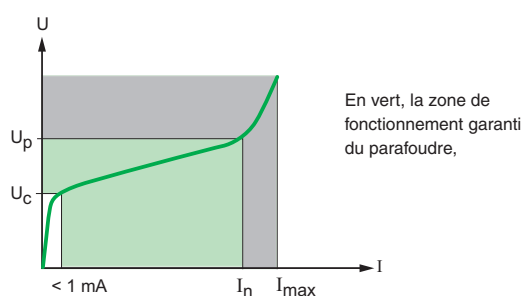
C'est la tension efficace ou continue au delà de laquelle le parafoudre devient passant. Cette valeur est choisie en fonction de la tension du réseau et du schéma des liaisons à la terre.

□  $U_p$  : niveau de protection (à  $I_n$ )

C'est la tension maximale aux bornes du parafoudre lorsqu'il est passant. Cette tension est atteinte lorsque le courant qui s'écoule dans le parafoudre est égal à  $I_n$ . Le niveau de protection doit être choisi inférieur à la tenue en surtension des charges (cf. paragraphe 3.2). Lors de coups de foudre, la tension aux bornes du parafoudre reste généralement inférieure à  $U_p$ .

□  $I_n$  : courant nominal de décharge

C'est la valeur de crête d'un courant de forme d'onde 8/20  $\mu s$  que le parafoudre est capable d'écouler 15 fois.



**Fig. J19 :** Caractéristique temps/courant d'un parafoudre à varistance

#### ■ parafoudre de type 1

□  $I_{imp}$  : courant impulsionnel de décharge

C'est la valeur de crête d'un courant de forme d'onde 10/350  $\mu s$  que le parafoudre est capable d'écouler 5 fois.

□  $I_{fi}$  : courant d'auto-extinction

Applicable uniquement à la technologie à éclateur.

C'est le courant (50 Hz) que le parafoudre est capable d'interrompre de lui-même après amorçage. Ce courant doit toujours être supérieur au courant de court-circuit présumé au point d'installation.

J11

**■ parafoudre de type 2**

□  $I_{max}$  : courant maximal de décharge

C'est la valeur de crête d'un courant de forme d'onde 8/20  $\mu s$  que le parafoudre est capable d'écouler 1 fois.

**■ parafoudre de type 3**

□  $U_{oc}$  : tension en circuit ouvert appliquée lors des essais de class III (type 3)

**2.4.2 Les principales applications****■ Les parafoudres BT**

Des dispositifs très différents, tant d'un point de vue technologique que d'utilisation, sont désignés par ce terme. Les parafoudres basse tension sont modulaires pour être facilement installés à l'intérieur des tableaux BT.

Il existe aussi des parafoudres adaptables sur les prises de courant mais ces parafoudres ont une faible capacité d'écoulement.

**■ Les parafoudres pour les circuits à courant faible**

Ces dispositifs protègent les réseaux téléphoniques, les réseaux commutés ou d'automatisme (bus) contre les surtensions issues de l'extérieur (foudre) et celles internes au réseau d'alimentation (équipement polluant, manœuvre d'appareillage, etc.).

De tels parafoudres sont aussi installés dans des coffrets de distribution ou intégrés dans des récepteurs.

J12

# 3 Conception du système de protection de l'installation électrique

Pour protéger une installation électrique dans un bâtiment, des règles simples s'appliquent au choix

- du ou des parafoudres,
- de son dispositif de protection.

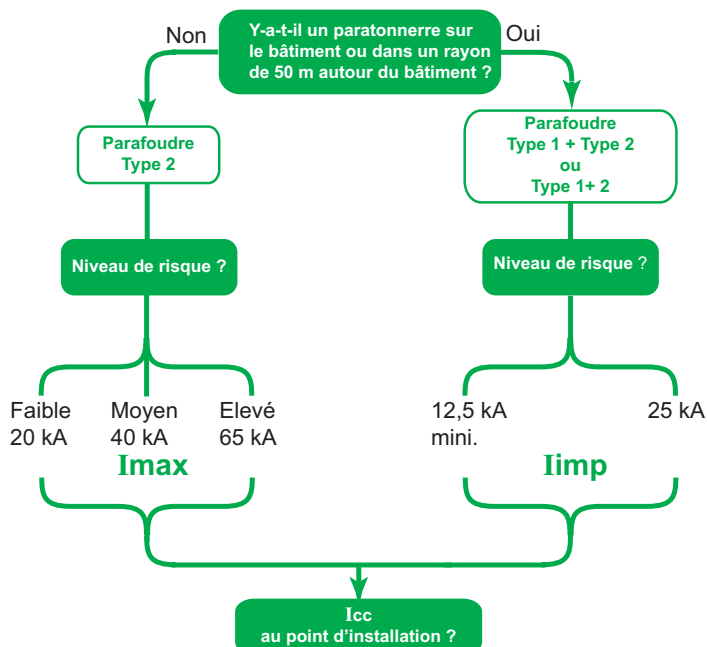
## 3.1 Règle de conception

Pour une installation de distribution électrique, les caractéristiques essentielles servant à définir le système de protection foudre et choisir un parafoudre pour protéger une installation électrique dans un bâtiment sont :

- parafoudre
  - le nombre de parafoudre,
  - le type,
  - le niveau d'exposition pour définir le courant de décharge  $I_{max}$  du parafoudre.
- dispositif de déconnexion
  - courant maximal de décharge  $I_{max}$ ,
  - niveau de court-circuit  $I_{cc}$  au point d'installation.

Le logigramme ci-après illustre cette règle de conception.

### Parafoudre



### Dispositif de Protection contre les court-circuits (DPCC)

Fig. J20 : Logigramme pour le choix d'un système de protection

Les autres caractéristiques de choix d'un parafoudre sont prédéfinies pour une installation électrique :

- nombre de pôles du parafoudre,
- le niveau de protection  $U_p$ ,
- la tension de service  $U_c$ .

Ce sous chapitre J3 décrit plus en détails les critères de choix du système de protection en fonction des caractéristiques de l'installation, des équipements à protéger et de l'environnement.

### 3.2 Éléments du système de protection

Un parafoudre doit toujours être installé à l'origine de l'installation électrique.

#### 3.2.1 Localisation et type de parafoudres

Le type de parafoudre à installer à l'origine de l'installation dépend de la présence ou non d'un paratonnerre. Si le bâtiment est équipé d'un paratonnerre (selon CEI 62305) un parafoudre de type 1 doit être installé.

Pour les parafoudres en tête d'installation, les normes d'installation CEI 60364 imposent des valeurs minimales pour les 2 caractéristiques suivantes :

- courant nominal de décharge  $I_n = 5 \text{ kA (8/20) } \mu\text{s}$ ,
- niveau de protection  $U_p (\text{à } I_n) < 2,5 \text{ kV}$ .

Le nombre de parafoudre complémentaire à installer est déterminé par :

- la taille du site et la difficulté d'assurer l'équipotentialité. Sur des sites de grande taille, il est impératif d'installer un parafoudre en tête de chaque armoire divisionnaire.
- la distance des charges sensibles à protéger par rapport à la protection de tête. Lorsque les récepteurs sont implantés à plus de 30 m de la protection de tête, il est nécessaire de prévoir une protection fine spécifique au plus près des charges sensibles.
- le risque d'exposition. En cas de site très exposé, le parafoudre de tête ne peut pas assurer à la fois un fort écoulement du courant de foudre et un niveau de protection suffisamment bas. En particulier, un parafoudre de type 1 est généralement accompagné par un parafoudre de type 2.

Le tableau de la **figure J21** ci-après indique le nombre et le type de parafoudre à mettre en œuvre en fonction des 2 paramètres précédemment définis.

J14

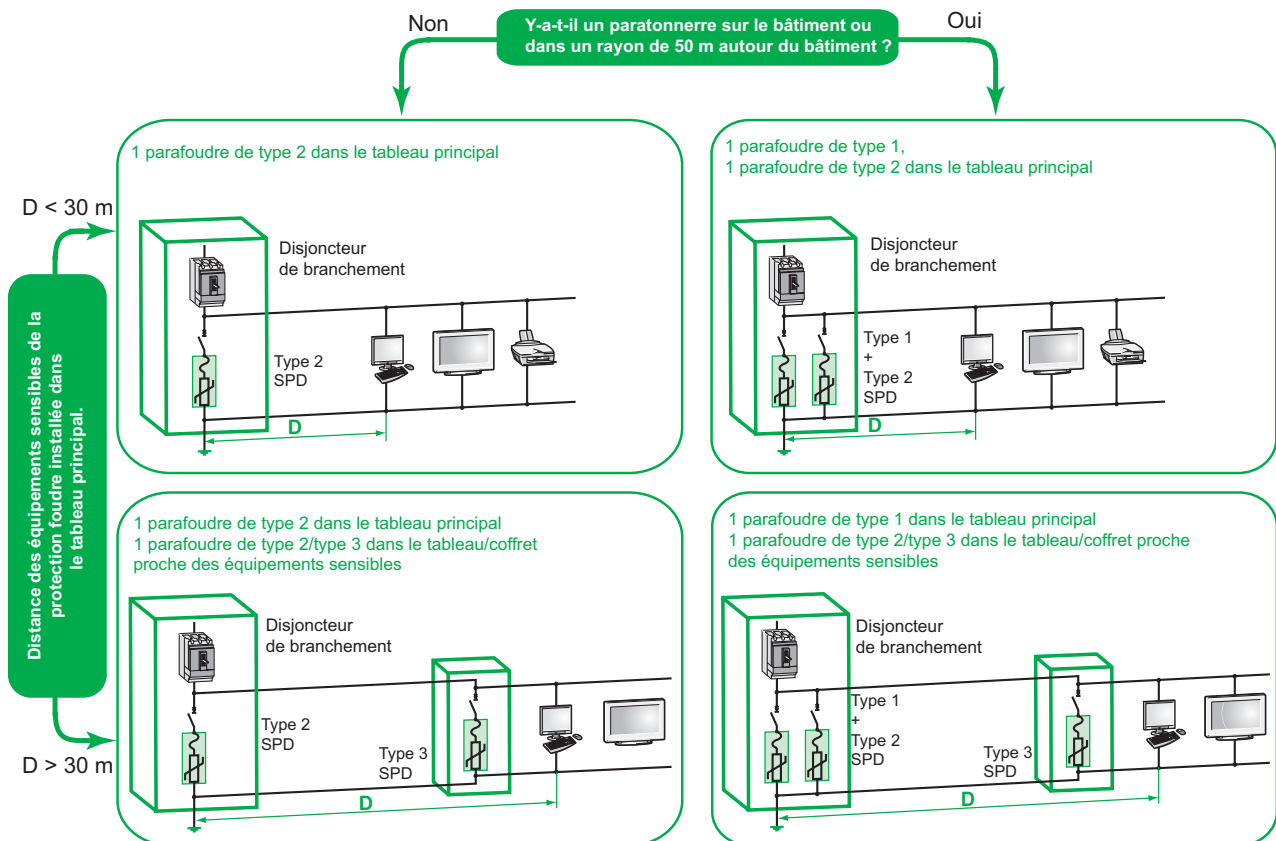


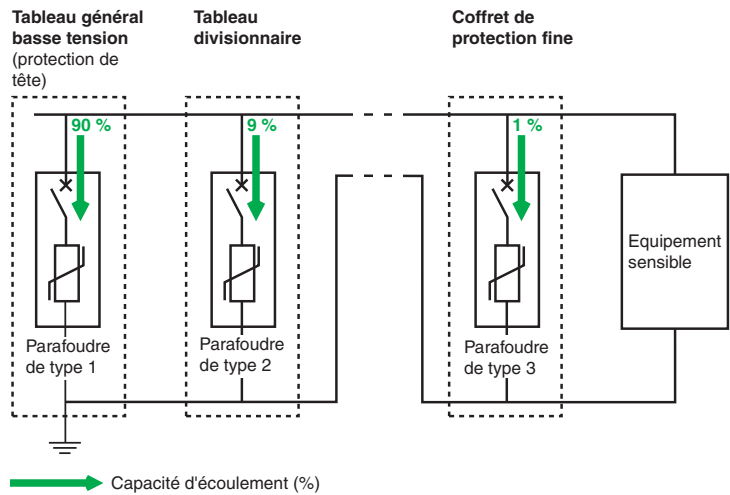
Fig. J21 : Les 4 cas de mise en œuvre de parafoudre  
 Note 1: Le parafoudre de type 1 est installé dans le tableau électrique raccordé à la prise de terre du paratonnerre.

# 3 Conception du système de protection de l'installation électrique

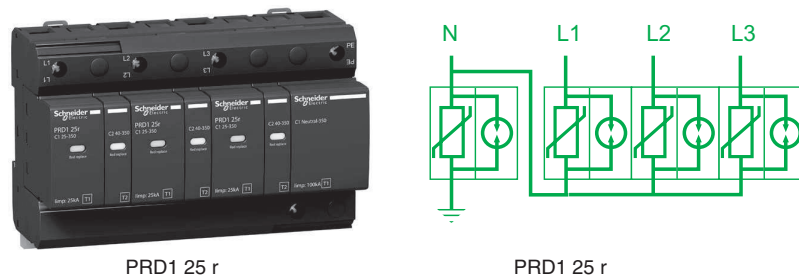
## 3.2.2 Mise en cascade des parafoudres

L'association en cascade de plusieurs parafoudres permet de répartir l'énergie entre plusieurs parafoudres, comme présenté sur la **Figure J22** où les trois types de parafoudre sont prévus :

- type 1 : lorsque le bâtiment est équipé d'un paratonnerre et situé en tête d'installation, il absorbe une quantité d'énergie très importante,
- type 2, il absorbe les surtensions résiduelles,
- type 3, il assure si nécessaire la protection «fine» des équipements les plus sensibles au plus près des récepteurs.



**Fig. J22 :** Architecture d'une protection fine  
*Note: Les parafoudres type 1 et 2 peuvent être associés dans un même parafoudre*



**Fig. J23 :** Le parafoudre PRD1 25r remplit les 2 fonctions de type 1 et de type 2 dans le même boîtier

J15

### 3.3 Caractéristiques communes des parafoudres suivant les caractéristiques de l'installation

#### 3.3.1 Tension de service $U_c$

Suivant le schéma des liaisons à la terre, la tension maximale de fonctionnement permanent  $U_c$  des parafoudres doit être égale ou supérieure aux valeurs indiquées dans le tableau de la **Figure J24**.

Parafoudre connecté entre	Schéma des liaisons à la terre du réseau				
	TT	TN-C	TN-S	IT avec neutre distribué	IT sans neutre distribué
Conducteur de phase et conducteur neutre	1,1 $U_o$	NA	1,1 $U_o$	1,1 $U_o$	NA
Chaque conducteur de phase et PE	1,1 $U_o$	NA	1,1 $U_o$	$\sqrt{3} U_o$	$\sqrt{3} U_o$
Conducteur neutre et PE	$U_o$	NA	$U_o$	$U_o$	NA
Chaque conducteur de phase et PEN	NA	1,1 $U_o$	NA	NA	NA

NA : non applicable

$U_o$  est la tension simple du réseau à basse tension.

**Fig. J24** : Valeur minimale prescrite de  $U_c$  des parafoudres en fonction des schémas des liaisons à la terre (à partir du tableau 53C de la norme CEI 60364-5-53)

Les valeurs de  $U_c$  les plus courantes choisies en fonction du schéma des liaisons à la terre.

TT, TN : 260, 320, 340, 350 V  
 IT : 440, 460, V

#### 3.3.2 Niveau de protection $U_p$ (à $I_n$ )

Le niveau de protection  $U_p$  « installé » généralement retenu pour protéger des équipements sensibles dans installations électriques 230/400 V, est 2,5 kV (catégorie de surtension II, cf. **Fig. J25**)

Note:

Si le niveau de protection prescrit ne peut pas être obtenu par le parafoudre de tête ou si des équipements sensibles sont éloignés (voir paragraphe 3.2.1) des parafoudres supplémentaires coordonnés doivent être mis en œuvre pour obtenir le niveau de protection requis.

Tension nominale de l'installation <sup>(1)</sup> V		Tension de tenue aux chocs prescrite pour kV <sup>(3)</sup>			
Réseaux triphasés <sup>(2)</sup>	Réseaux monophasés à point milieu	Matériels à l'origine de l'installation (catégorie de surtension IV)	Matériels de distribution et circuits terminaux (catégorie de surtension III)	Appareils d'utilisation et équipement (catégorie de surtension II)	Matériels spécialement protégés (catégorie de surtension I)
	120-240	4	2,5	1,5	0,8
230/400 <sup>(2)</sup> 277/480 <sup>(2)</sup>	-	6	4	2,5	1,5
400/690	-	8	6	4	2,5
1,000	-	Valeurs définies par les ingénieurs réseau			

(1) Selon la CEI 60038.

(2) Au Canada et aux USA, pour des tensions supérieures à 300 V par rapport à la terre, la tension de tenue aux chocs correspondant à la tension immédiatement supérieure de la colonne est applicable.

(3) Cette tension de tenue aux chocs est applicable entre les conducteurs actifs et le conducteur PE.

**Fig. J25** : Choix d'un équipement pour une installation conforme à la CEI 60364 (tableau 44B)

J16

### 3 Conception du système de protection de l'installation électrique



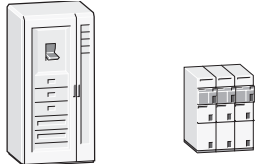
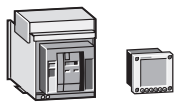
	<p>■ les matériels de la catégorie I sont des matériels particulièrement sensibles aux surtensions transitoires (appareils avec circuits électroniques, etc.).</p>
	<p>■ les matériels de la catégorie II sont des matériels consommateurs d'énergie, alimentés à partir de l'installation fixe (appareils électrodomestiques, outils portatifs, etc.).</p>
	<p>■ les matériels de la catégorie III sont des appareillages de l'installation fixe et des matériels à usage industriel avec un raccordement permanent à l'installation fixe.</p>
	<p>■ les matériels de la catégorie IV sont utilisés à l'origine de l'installation (appareillages, appareils de mesures, compteurs électriques, etc.).</p>

Fig. J26 : Catégorie de surtension des matériels

J17

Le parafoudre a un niveau de protection en tension  $U_p$  intrinsèque c.-à-d. défini et testé indépendamment de son installation.

En réalité, pour le choix de la performance  $U_p$  d'un parafoudre, il faut prendre une marge de sécurité pour tenir compte des surtensions inhérentes à l'installation du parafoudre (cf. Fig. J27)

La performance  $U_p$  « installé » doit être comparée à la tenue aux chocs des récepteurs.

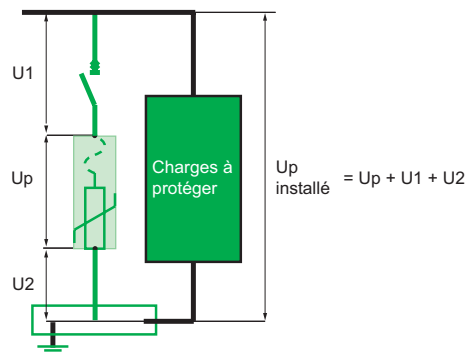


Fig. J27 :  $U_p$  « installé »

### 3.3.3 Nombre de pôles

Suivant le schéma des liaisons à la terre, il est nécessaire de prévoir une architecture du parafoudre assurant la protection en mode commun (MC) et en mode différentiel (MD).

	TT	TN-C	TN-S	IT
Phase –neutre (MD)	Recommandé <sup>1</sup>	-	Recommandé	Non utile
Phase-terre (PE ou PEN) (MC)	Oui	Oui	Oui	Oui
Neutre-Terre (PE) (MC)	Oui	-	Oui	Oui <sup>2</sup>

Fig. J28 : Besoin de protection selon le schéma des liaisons à la terre

**Note:**

■ **surtension de mode commun**

Une protection de base consiste à installer un parafoudre en mode commun entre les phases et le conducteur PE (ou PEN), quel que soit le type de schéma des liaisons à la terre utilisé

■ **surtension de mode différentiel**

Dans les schémas TT et TN-S, la mise à la terre du neutre conduit à une dissymétrie due aux impédances de terre qui entraîne l'apparition de tensions de mode différentiel, bien que la surtension induite par un coup de foudre soit de mode commun.

J18

**Parafoudre 2P, 3P et 4P (cf. Fig. J29)**

- Ils sont adaptés aux schémas TN-C et IT.
- Ils fournissent seulement une protection contre les surtensions de mode commun.

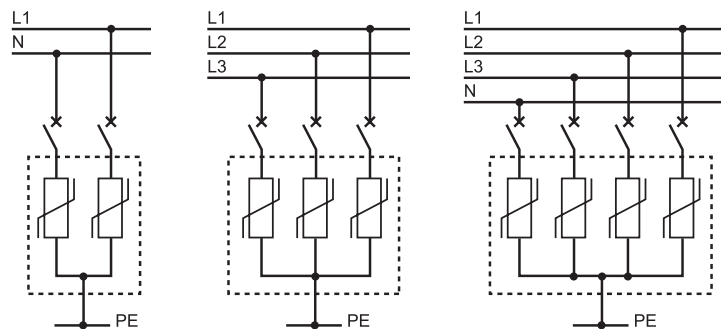


Fig. J29 : Parafoudre 2P, 3P, 4P

# 3 Conception du système de protection de l'installation électrique

## Parafoudre 1P + N, 3P + N (cf. Fig. J30)

- Ils sont adaptés aux schémas TT, TN-S, TN-C.
- Ils fournissent une protection contre les surtensions de mode commun et de mode différentiel.

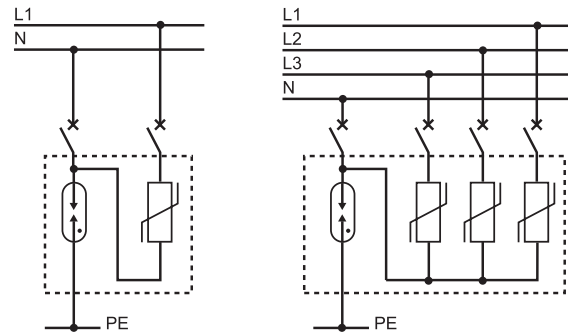


Fig. J30 : Parafoudre 1P + N, 3P + N

## 3.4 Choix d'un parafoudre de type 1

### 3.4.1 Courant de décharge impulsionnel $I_{imp}$

■ En absence de réglementations nationales ou spécifiques au type de bâtiment à protéger :  
le courant de décharge impulsionnel  $I_{imp}$  est au minimum de 12,5 kA (onde 10/350  $\mu$ s) par branche suivant la CEI 60364-5-534.

■ En présence d'une réglementation :  
La norme 62305-2 définit 4 niveaux : I, II, III ou IV  
Le tableau de la **figure J31** indique les différents niveaux de  $I_{imp}$  dans le cas réglementaire.

Niveau de protection suivant EN 62305-2	Courant de foudre paratonnerre	$I_{imp}$ mini Parafoudre Type 1 (réseau triphasé)
I	200 kA	25 kA/pole
II	150 kA	18.75 kA/pole
III / IV	100 kA	12.5 kA/pole

Fig. J31 : Tableau des valeurs de  $I_{imp}$  suivant le niveau de protection du bâtiment (d'après CEI/EN 62305-2)

### 3.4.2 Courant d'auto-extinction $I_{fi}$

Cette caractéristique n'est applicable que pour les parafoudres à technologie éclateur. Le courant d'auto-extinction  $I_{fi}$  doit toujours être supérieur au courant de court-circuit présumé  $I_{cc}$  au point d'installation.

J19

## 3.5 Choix d'un parafoudre de type 2

### 3.5.1 Courant de décharge I<sub>max</sub> des parafoudres

■ Le courant de décharge I<sub>max</sub> est défini, suivant le niveau d'exposition estimé par rapport à la situation du bâtiment.

La valeur du courant nominal de décharge (I<sub>max</sub>) est déterminée par une analyse du risque (voir tableau de la **figure J32**).

	Niveau d'exposition		
	Faible	Moyen	Elevé
Environnement des bâtiments	Bâtiment situé dans une zone urbaine ou suburbaine d'habitations groupées	Bâtiment situés en plaine	Bâtiment où il existe un risque spécifique : pylône, arbre, région montagneuse, zone humide ou étang,...
Valeur conseillée I <sub>max</sub> (kA)	20	40	65

Fig. J32 : I<sub>max</sub>, courant de décharge maximum en fonction du niveau d'exposition

## 3.6 Choix des dispositifs de déconnexion

### 3.6.1 Risques à prévenir en fin de vie du parafoudre

#### ■ Sur vieillissement

En cas de fin de vie naturelle sur vieillissement, la protection est de type thermique. Les parafoudres à varistances doivent posséder un déconnecteur interne qui met hors service le parafoudre.

Note : la fin de vie par emballement thermique ne concerne pas les parafoudres à éclateur à gaz ou à air.

#### ■ Sur défaut

Les causes de fin de vie sur défaut court-circuit, sont dues à :

- un dépassement de la capacité d'écoulement maximale. Ce défaut se traduit par un court-circuit franc,
- un défaut provenant du réseau de distribution (permutation neutre phase, rupture du neutre),
- une dégradation lente de la varistance.

Ces 2 derniers défauts se traduisent par un court-circuit impédant. L'installation doit être protégée des dommages consécutifs à ces types de défaut : le déconnecteur interne (thermique) défini ci-dessus n'a pas le temps de s'échauffer, donc de fonctionner.

Un dispositif spécifique (appelé « dispositif de déconnexion externe »), apte à éliminer le court-circuit, doit être installé. Il peut être réalisé par un disjoncteur ou un appareillage à fusible.

### 3.6.2 Caractéristiques du dispositif de déconnexion externe

Le dispositif de déconnexion doit être coordonné avec le parafoudre. Il est dimensionné pour tenir les 2 contraintes suivantes :

#### Tenue au courant de foudre

La tenue au courant de foudre est une caractéristique essentielle du dispositif de déconnexion externe du parafoudre.

Le dispositif doit être capable de tenir les essais normalisés suivants :

- ne pas déclencher sur 15 courants impulsions successifs à I<sub>max</sub>,
- déclencher à I<sub>max</sub> (ou I<sub>imp</sub>) sans être détérioré.

#### Tenue au courant de court-circuit

■ **Le pouvoir de coupure** est déterminé par les règles d'installation (normes CEI 60364) :

Le dispositif de déconnexion externe doit avoir un pouvoir de coupure égal ou supérieur au courant de court-circuit présumé I<sub>cc</sub> au point d'installation (suivant les normes CEI 60364).

J20

Le système de protection (thermique et court-circuit) doit être coordonné avec le parafoudre pour garantir un fonctionnement sûr, soit

■ assurer la continuité de service :

- supporter les ondes de courant de foudre,
- ne générer de tension résiduelle trop importante.

■ assurer une protection efficace contre tous les types de surintensités :

- surcharge suite à emballement thermique de la varistance,
- court-circuit de faible intensité (impédant),
- court-circuit de forte intensité.

# 3 Conception du système de protection de l'installation électrique

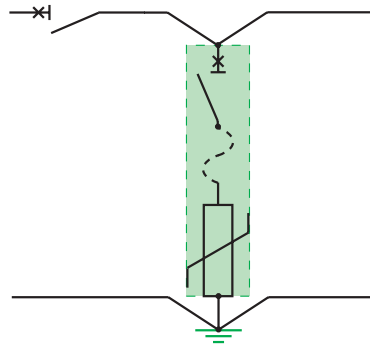
## ■ La protection de l'installation contre le court-circuits

En particulier, le court-circuit impédant dissipe beaucoup d'énergie et doit être éliminé très rapidement pour éviter des dommages à l'installation et au parafoudre. Le choix de la protection est déterminé par le constructeur (dans les catalogues du constructeur du parafoudre).

### 3.6.3 Mode d'installation du dispositif de déconnexion externe

#### ■ Dispositif « en série »

Le dispositif de déconnexion est désigné « en série » (cf. **Fig. J33**) lorsqu'il est réalisé par la protection générale du réseau à protéger (par exemple, disjoncteur de branchement en amont d'une installation).



**Fig. J33** : dispositif de déconnexion « en série »

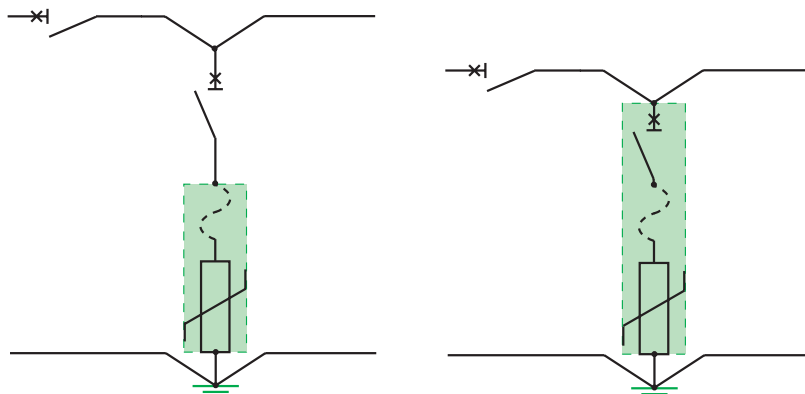
#### ■ Dispositif « en parallèle »

Le dispositif de déconnexion est désigné « en parallèle » (cf. **Fig. J34**) lorsqu'il est réalisé spécifiquement par une protection associée au parafoudre.

□ Le dispositif de déconnexion est appelé « disjoncteur de déconnexion » si la fonction est réalisée par un disjoncteur.

□ Le disjoncteur de déconnexion peut être intégré ou non au parafoudre.

Note : dans le cas d'un parafoudre à éclateur à gaz ou à air, le dispositif de déconnexion permet de couper le courant de suite après utilisation.



**Fig. J34** : dispositifs de déconnexion « en parallèle »

J21

### 3.6.4 Garantie de la protection

Le dispositif de déconnexion externe doit être coordonné avec le parafoudre, testé et garanti par le constructeur de parafoudre suivant les préconisations de la norme CEI 61643-11 (NF EN 61643-1) chap. 7.7.3 . Il doit aussi être installé suivant les recommandations du constructeur  
 Lorsque ce dispositif est intégré, la conformité à la norme produit CEI 61643-11 garantit naturellement la protection.



Fig. J35 : Parafoudres à dispositif de protection externe non intégré (C60N + PRD 40r) et intégré (Quick PRD 40r)

### 3.6.5 Synthèse des caractéristiques du dispositif de déconnexion externe

Une analyse détaillée des caractéristiques est réalisée au paragraphe J6.4.  
 Le tableau de la **figure J36** présente, sur un exemple, une synthèse des caractéristiques en fonction des différents types de dispositif de déconnexion externe

J22

Mode d'installation du dispositif de déconnexion externe	En série		En parallèle	
		Protection fusible associé	Protection disjoncteur associée	Protection disjoncteur intégrée
<b>Protection foudre des équipements</b>	=	=	=	=
	Tous les types de dispositifs de déconnexion protègent correctement les équipements			
<b>Protection installation en fin de vie</b>	-	=	+	++
	Aucune garantie de protection possible	Garantie constructeur Protection des courts-circuits impédants mal assurée	Protection des courts-circuits parfaitement assurée	Garantie totale
<b>Continuité de service en fin de vie</b>	--	+	+	+
	L'installation complète est mise hors service	Seul, le circuit du parafoudre est mis hors service		
<b>Maintenance en fin de vie</b>	--	=	+	+
	Mise hors service de l'installation nécessaire	Changement des fusibles	Réarmement immédiat	

Fig. J36 : Caractéristiques de la protections fin de vie d'un parafoudre type 2 suivant le dispositif de déconnexion



## 3 Conception du système de protection de l'installation électrique

### 3.7.1 Coordination avec les protections du réseau

#### Coordination avec les protections de surintensités

Dans l'installation électrique, le dispositif de déconnexion externe est un appareillage identique à l'appareillage de protection : ce qui permet de mettre en œuvre les techniques de sélectivité et de filiation pour une optimisation technico-économique du plan de protection.

#### Coordination avec les dispositifs différentiels

Si le parafoudre est installé en aval d'une protection différentielle, celle-ci doit être de type «si» ou Sélectif avec une immunité aux courants impulsionnels d'au moins 3 kA (onde de courant 8/20  $\mu$ s).

Note : les dispositifs différentiels de type S conformes aux normes CEI 61008 ou CEI 61009-1 satisfont à cette prescription.

J24