


[Informations](#)
[Les activités](#)
[Les programmes](#)
[Documentation](#)
[Les données](#)
[Hydrologie](#)
[Météorologie](#)
[Qualité](#)
[Acquisition](#)
[Hydrology](#)
[Meteorology](#)
[Quality](#)
[Métrologie](#)
[Topographie](#)

# LE RISQUE FOUDRE

©EDF Electricité de France 2000

<http://retd.edf.fr/futur/mois/foudre.fr.htm>

[Christian Richard](#) - [TVConnect](#)

[/http://www.lelectronique.com/dossier/comment/foudre/index.php3](http://www.lelectronique.com/dossier/comment/foudre/index.php3)

Nous pouvons trouver facilement des exemples d'éclairs dans la vie courante.

Lorsque vous marchez sur de la moquette, le frottement des semelles de vos chaussures va provoquer sur vous une accumulation de charges électriques. Si vous touchez un objet métallique raccordé au sol, avant même que votre doigt soit en contact de cet objet (une poignée d'ascenseur par exemple), un petit éclair ou arc électrique va se former entre votre doigt et la poignée.

Cet arc est la preuve que les charges électriques que vous avez accumulées vous ont porté à un potentiel électrique de plusieurs milliers de volts !

Et pourtant vous êtes encore en vie ? Oui, car l'énergie mise en jeu est faible ; la seule conséquence que vous avez subie est un picotement désagréable, mais sans conséquence pour votre organisme. Prenons un autre exemple : les bougies qui équipent un moteur d'automobile (à essence) sont aussi le siège d'une décharge électrique se traduisant par un petit éclair entre l'électrode centrale et le corps de la bougie.

Cette décharge est nécessaire pour enflammer le mélange air/essence lors de la phase de combustion du moteur. La différence de potentiel est de l'ordre de 20000 à 50000 volts mais l'énergie nécessaire est déjà importante : ceux d'entre vous qui auraient touché un fil de bougie débranché ont pu mesurer

les effets très désagréables de cette énergie disponible ! Le principe de l'apparition d'un éclair d'orage est le même : il faut qu'il existe une très grande différence de potentiel entre le nuage et le sol, plusieurs milliards de volts, compte tenu de la distance qui les sépare

## Le phénomène foudre

La foudre est un phénomène électrique, lié à la formation de nuages électrisés : les nuages d'orage. Cependant, la foudre n'est qu'une manifestation de l'orage; les précipitations (pluies, grêles) et le vent en sont des manifestations tout aussi dangereuses

On distingue deux sortes d'orages :

- les orages de chaleur naissent d'un effet de réchauffement des sols associé à une forte humidité. Ce sont des orages locaux. Une bulle d'air chaud et humide s'élève et forme un nuage à des altitudes où peut s'initier la condensation de l'air. Un tel orage ne dure généralement que 1 à 2 heures,
- les orages océaniques ou frontaux se forment lors de la rencontre de masses d'air importantes, de température et d'humidité différentes. Cette rencontre produit des mouvements de convection ascendants, accompagnés de phénomènes de condensation. Ces orages peuvent présenter des fronts de centaines de kilomètres, persister des jours durant et se propager sur des milliers de kilomètres.

### 1. L'électrification du nuage d'orage

Deux éléments caractérisent les nuages orageux :

- la présence d'une masse d'eau importante, qui de fait va se trouver sous forme vapeur, liquide (eau et eau surfondue) et solide (cristaux de glace, grésil, grêlons...),
- des mouvements de convection atmosphériques notables conduisant à des vents extrêmement violents pouvant dépasser la centaine de kilomètres/heure.

Par suite de phénomènes physiques encore largement inexplicés, on constate que des décharges électriques vont se former à l'intérieur du nuage, majoritairement négatives en bas du nuage, et positives en haut du nuage. L'éclair n'est ni plus ni moins qu'une

décharge électrique permettant le rééquilibrage et la recombinaison de ces charges, en mettant en jeu non seulement le nuage, mais également les structures au sol par influence électrostatique.

La majorité des éclairs se développe à l'intérieur des nuages, activité qui, d'ailleurs, n'est pas directement accessible à la perception humaine. Ce n'est que moins de 10 % de l'activité orageuse qui intéresse le sol.

La phénoménologie de la foudre et la protection contre ses effets s'appuient sur l'étude de deux aspects fondamentaux :

- l'étude et la maîtrise du point de connexion, ainsi que l'évacuation de l'énergie de la foudre, ce qui très schématiquement correspond à l'aspect "*protection contre les effets directs*",
- l'étude et la maîtrise des effets liés à la circulation d'un courant de grande amplitude, ce qui, toujours schématiquement, correspond à l'aspect "*protection contre les effets indirects*".

## 2. Phénoménologie électrique

Les nuages orageux sont de type cumulonimbus et sont composés de cristaux de glace, de grêlons et d'eau surfondue. A l'intérieur du nuage coexistent des vents violents (jusqu'à 200 km/h) conduisant à des processus d'ionisation par collisions des particules constituant le nuage.

Deux types de théories tentent d'expliquer l'activité électrique des orages, mais aucune n'est franchement satisfaisante.

La première attribue un rôle essentiel aux porteurs de charges libres positifs et négatifs, dont la répartition à l'intérieur du nuage dépendra de leur entraînement par les mouvements de convection naturelle du nuage.

La deuxième théorie s'appuie sur des processus d'échanges de charges entre les particules qui entrent en collision à l'intérieur du nuage. Ce transfert de charges s'effectue entre les petits cristaux de glace (quelques micromètres) et les particules de grésil (quelques millimètres), en présence d'eau surfondue. Pour une température inférieure à  $-10^{\circ}\text{C}$ , c'est-à-dire dans la partie supérieure du nuage, les cristaux se chargent positivement, et le grésil négativement. Pour des températures supérieures à  $-10^{\circ}\text{C}$ , donc dans la partie inférieure du nuage, c'est l'inverse qui se produit. La répartition des charges dans le nuage est alors régie par les transferts de charges vers les particules précipitantes.

Dans tous les cas, le processus conduit, phase 1 du développement, à la création d'un tripôle électrique. Une charge principale négative se trouve entre 2 et 6 km du sol et est généralement constituée de gouttelettes d'eau à une température descendant jusqu'à -15 °C. Au-dessus et jusqu'à des altitudes de 15 km, se trouvent des particules de glace chargées positivement. Enfin, on trouve souvent une petite charge positive tout en bas du nuage.

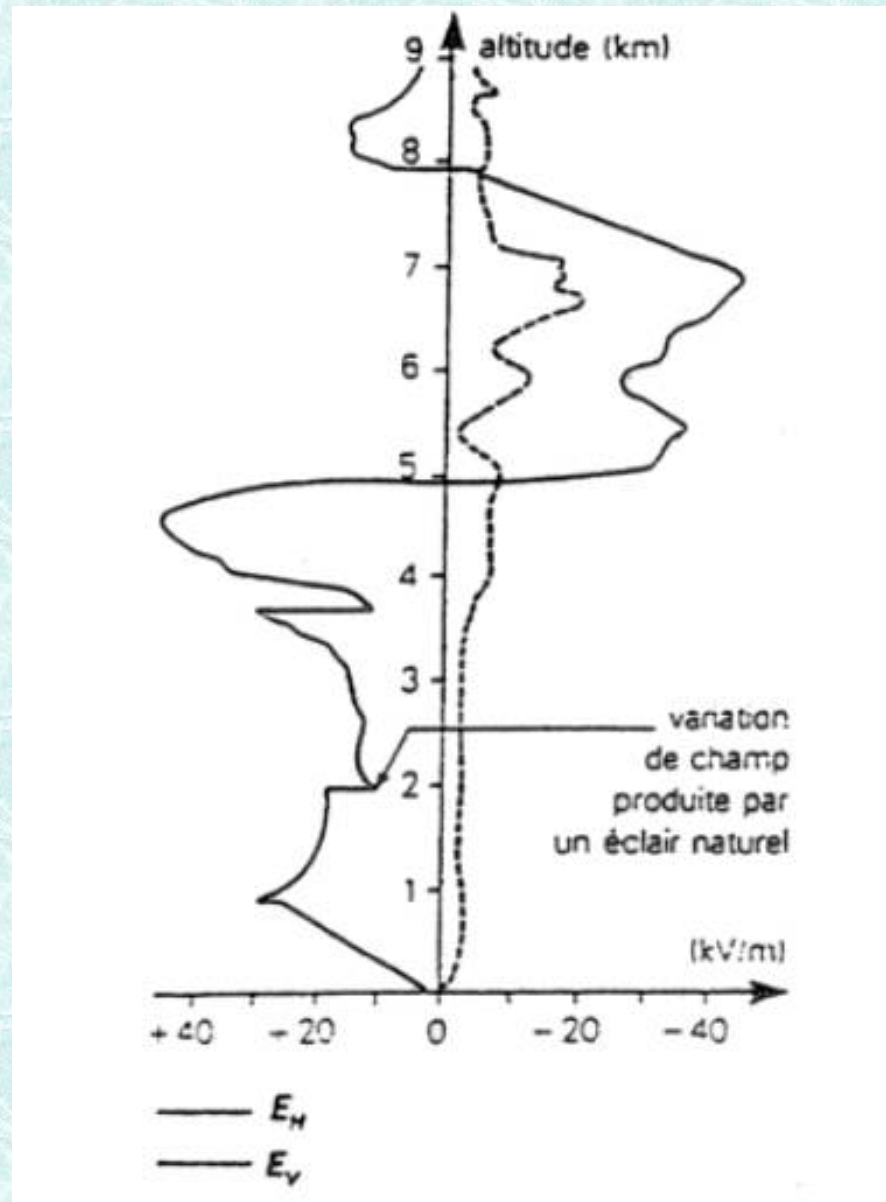
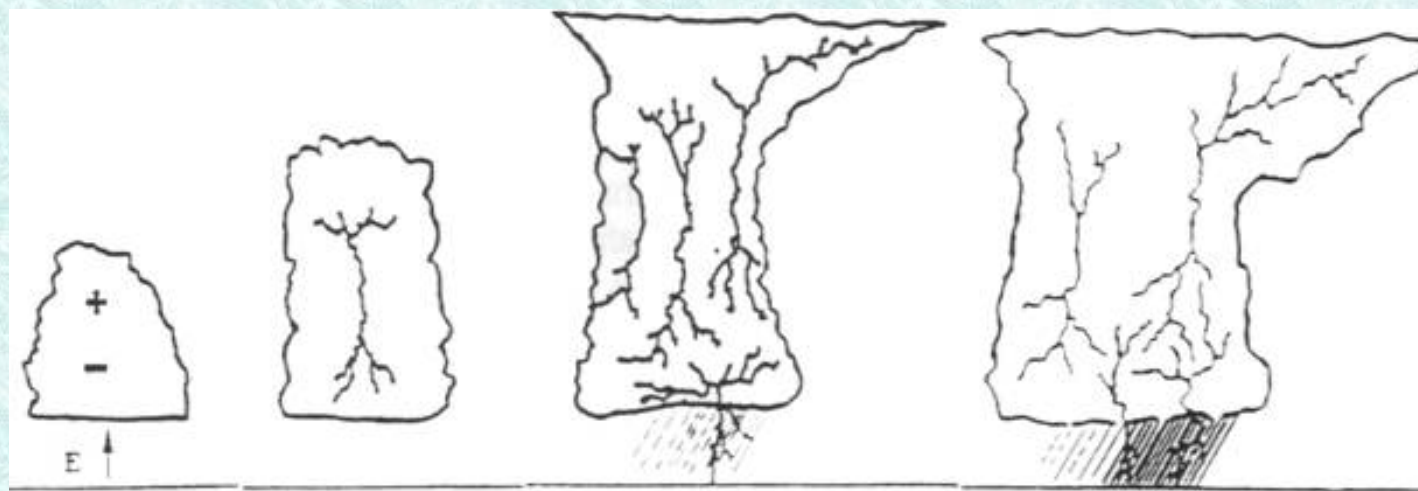


Figure 1 : Profil du champ électrique dans un nuage d'orage à son initiation

La phase 2 du développement est caractérisée par le début d'une activité électrique à l'intérieur du nuage d'orage, alors que le champ électrique atteint quelques centaines de kilovolts par mètre et qu'on note une grande densité d'hydrométéores. Cette activité orageuse se trouve corrélable avec l'accroissement de la cellule orageuse et trouve son maximum d'intensité avec le développement maximal de cette cellule orageuse.

La phase 3 est celle de la maturité et est caractérisée par une activité orageuse intra-nuage intense, le maximum d'activité convective et des phénomènes internes importants. Elle précède toujours la phase 4 et l'activité postérieure de l'orage peut être appréhendée par l'étude de cette phase. L'étude des déplacements des cellules orageuses permet d'estimer la vitesse de propagation et la direction des orages. Les prévisions sont actuellement réalisées sous 30 min., pour des zones limitées à 150-200 km.

La phase 4 est celle de l'effondrement du nuage. L'activité intra-nuage décroît tandis que l'activité au sol atteint son apogée : foudre nuage-sol, précipitations violentes de grêle ou de pluie, vents violents et cisaillements de vent (microbursts), particulièrement dangereux pour la navigation aérienne et les structures de grande hauteur. C'est à ce moment-là que les manifestations au sol présentent le risque le plus important pour l'homme.



<b>Initiation</b> (phase 1)	<b>Développement</b> (phase 2)	<b>Maturité</b> (phase 3)	<b>Décroissance</b> (phase 4)
--------------------------------	-----------------------------------	------------------------------	----------------------------------

<ul style="list-style-type: none"> <li>○ début des mécanismes d'électrification</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ début de la phase d'activités</li> <li>○ activité électrique intranuage</li> <li>○ vents ascendants violents</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ activité électrique intense</li> <li>○ développement vertical maximal</li> <li>○ activité convective intense</li> <li>○ phénomènes internes sévères</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ décroissance de l'activité interne</li> <li>○ répercussions au sol maximales : foudre, pluies violentes, grêle, cisaillements de vents</li> </ul>
--	--	---	--

**Tableau 1 : Les différentes phases de développement d'une cellule orageuse**

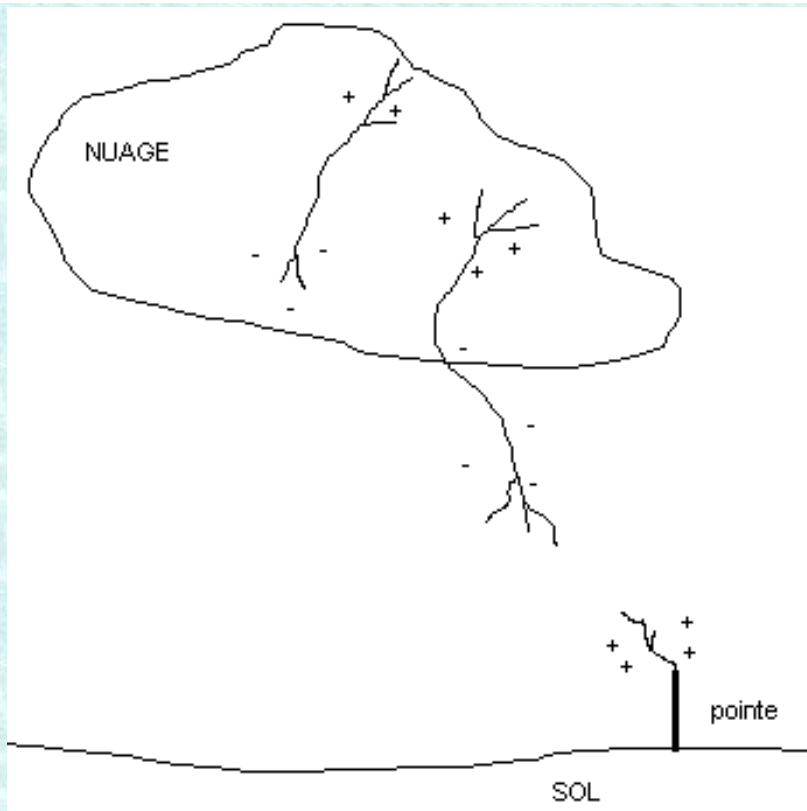
Globalement, les échelles de temps approximatives suivantes peuvent être données pour caractériser la vie d'une cellule orageuse :

- Phase d'électrisation du nuage (phase 1) : une dizaine de minutes,
- Phase de croissance et maximum (phases 2 et 3) : très variable, peut atteindre l'heure,
- Phase de manifestation au sol (phase 4) : 5 à 35 minutes après l'activité intra-nuage.

Un orage verra le développement ininterrompu de cellules orageuses de ce type.

L'activité intra-nuage représente de 70 à 90 % de l'activité électrique globale. Dans les cas d'orages très violents, elle atteindrait 99 % de l'activité globale.

### 3. Initiation de l'éclair



**Figure 3 : Phénoménologie du coup de foudre**

Physiquement, la transition de l'état isolant de l'air en un état conducteur permet de rétablir l'équilibre entre les charges électriques distinctes présentes dans le gaz. Ce phénomène peut se produire aussi bien dans le nuage (décharges intra-nuages), qu'entre le nuage et le sol (décharges nuages-sol ou foudre). En fait, des recherches récentes, en particulier expérimentales, montrent que les éclairs présentent simultanément des ramifications positives et négatives qui assurent la neutralisation des charges électriques coexistant à l'intérieur du nuage (figure 3). Parmi ces décharges, certaines sont susceptibles d'atteindre le sol. Dans nos régions tempérées, et du fait de la prédominance des charges négatives en bas du nuage, la probabilité d'obtenir un coup de foudre négatif est nettement plus importante (70-90 %) que celle d'obtenir un coup de foudre positif (10-30 %).

La première phase d'un coup de foudre est toujours le développement d'un système de précurseurs ou traceurs, ou leaders, pré-décharges faiblement lumineuses, de vitesse de propagation de l'ordre du 1/1000 ième de la vitesse de la lumière. On a pour habitude de classer les coups de foudre selon le sens de développement du traceur principal (descendant ou ascendant) et suivant la polarité des charges écoulées.

## 4. Le coup de foudre

Ce courant très intense, de valeur moyenne 35000 ampères en France, est compris dans une bande de fréquences allant de 1 kHz à 1 MHz ; sa durée s'échelonne entre 10 microsecondes et 100 millisecondes.

Il s'accompagne d'un effet lumineux et sonore lui aussi très intense : la température de l'éclair dépasse 27000 degrés Celsius. Cette valeur est à comparer à la température de la surface du soleil qui n'est que de 5600 degrés Celsius ! Cette brusque élévation de température génère une onde choc qui va se propager dans l'air (à la vitesse de 340 mètres par seconde), c'est le tonnerre ; le bruit du tonnerre peut être entendu jusqu'à une distance de plus de 15 kilomètres par rapport au lieu de l'éclair. La vitesse de l'éclair est très rapide : de 100 à mille fois plus petite que la vitesse de la lumière. Ce courant génère également un fort champ électromagnétique (champ électrique et champ magnétique) dont les effets peuvent être minimes (craquements dans la « radio » dus aux éclairs nuages/nuages) ou importants pour des appareils situés près de l'impact.

### Où se produisent les coups de foudre ?



Lorsque la différence de potentiel est suffisamment grande pour engendrer l'éclair, des facteurs prédisposants vont aider à sa formation : plus un objet est haut, donc plus proche du nuage, plus il aura de chance "d'attirer la foudre". C'est le cas des bâtiments, édifices, pylônes ou arbres de grande hauteur.

D'autres paramètres géologiques, tels que la résistivité (résistance électrique) et l'homogénéité du sol, ou météorologiques, tels les vents dans une moindre mesure, peuvent influencer la localisation du point d'impact de la foudre.

En milieu agricole, chacun connaît des sites particulièrement exposés aux coups de foudre qui répondent à ces critères.

Lorsqu'il s'agit d'étudier une installation de protection contre les coups de foudre, il est nécessaire de connaître le niveau kéraunique du lieu : ce niveau kéraunique représente le nombre de jours par an où l'on entend le tonnerre.

Ce niveau varie d'une région à une autre et il existe des cartes le précisant.

En France, le niveau moyen est de 20 ; il s'abaisse à 10 pour les régions côtières et dépasse 30 dans les régions montagneuses. Météorage calcule statistiquement la densité de foudroiement au sol (sensiblement égale au niveau kéraunique divisé par 10) ou nombre d'impacts par an au kilomètre carré.

A partir de ces éléments, mais aussi des dimensions, des structures et de l'environnement d'un bâtiment, il est possible d'évaluer des risques de foudroiement.

Ainsi pour un niveau kéraunique de 25, soit une densité d'impact de 2,5, le risque pour une maison individuelle est au plus d'un foudroiement tous les huit siècles ! Pour un bâtiment collectif de dimensions moyennes ce risque tombe à 63 ans. Mais pour un bâtiment de grandes dimensions, le risque devient supérieur à deux foudroiements par an ; pour une structure comme la Tour Eiffel il peut aller jusqu'à 10 !



# Mesures et systèmes de détection

Les bases de données visent à établir sur un plan statistique les principales caractéristiques de la foudre au sol. Parmi les données les plus importantes, nous analyserons ici, pour la France, les bases de données relatives à la densité de foudroiement et à l'amplitude crête des courants d'arc en retour.

## 1. Densité de foudroiement au sol

L'intérêt de l'approche statistique est de pouvoir prévoir un modèle probabiliste des effets de la foudre et donc d'établir le facteur de risque de voir une structure touchée par la foudre ainsi que le degré de sévérité des contraintes directes ou indirectes qu'elle va subir.

Les données statistiques proviennent soit de banques nationales, soit de banques mondiales.

On définit le niveau kéraunique d'une région comme étant le nombre de jours par an où le tonnerre a été entendu. Le niveau kéraunique, bien que correspondant à une définition très sommaire, permet d'évaluer la sévérité orageuse d'une région.

En France, le niveau kéraunique moyen est de l'ordre de 20. Il varie suivant les régions (supérieur à 30 dans les régions montagneuses, inférieur à 10 pour les régions côtières de la Manche et de l'Atlantique).

Un paramètre plus représentatif des risques liés à la foudre au sol est la densité des coups de foudre au sol. Elle est exprimée en nombre de coups par km<sup>2</sup> et par an.

Des relations empiriques plus ou moins complexes ont été établies entre la densité de coups de foudre au sol (d) et le niveau kéraunique (k) suivant les caractéristiques météorologiques locales. Pour la France, on admet généralement :

$$d = 0,04 k^{1,25}$$

D'autres formules empiriques donnent les caractéristiques de la loi log-normale associée (moyenne et écart type) ainsi que la durée des orages.

Sur le plan international, un certain nombre de relations empiriques ont été proposées dans le passé, y compris au niveau de la CIGRE (Comité International des Grands Réseaux Electriques). Or, le niveau de corrélation entre ces deux grandeurs est extrêmement faible et semble de plus dépendre de la phénoménologie des orages.

Le niveau kéraunique a été déterminé à partir des données mesurées par le système de localisation en considérant qu'il y a eu jour d'orage quand au moins un coup de foudre est tombé à moins de 8 km d'une station de détection.

Il faut être extrêmement prudent dans l'utilisation du niveau kéraunique pour caractériser la sévérité orageuse d'une région. Il paraît en particulier aberrant d'asseoir une politique de protection en fonction du niveau kéraunique même régional.

En conclusion, il paraît nécessaire d'établir des cartes de densité de foudroiement au sol avec un niveau de détail suffisant pour rendre compte des disparités géographiques locales majeures. Ces cartes devront être établies durant plusieurs années de façon à tenir compte des variations saisonnières et annuelles.

Elles ne sont pas suffisantes en elle-même dans la mesure où les caractéristiques électromagnétiques liées à la foudre ont une importance prépondérante en terme de protection.

## **2. Caractéristiques électriques des coups de foudre au sol à partir des mesures directes**

L'exploitation statistique des enregistrements directs des coups de foudre au sol a permis de calculer les densités de probabilité relatives aux caractéristiques des décharges de foudre.

Pour la France continentale, les conclusions qualitatives sont les suivantes :

- 90 % des coups de foudre sont de polarité négative,
- les coups de foudre négatifs comportent généralement plusieurs éclairs subséquents sauf pour les événements qui se produisent en hiver qui ne semblent comporter qu'une décharge,
- les coups de foudre positifs ne comportent en général qu'une décharge. Ils se produisent principalement en hiver.

# PROTECTION ET PREVENTION

## 1. Les principaux risques en matière de foudroiement

Il est indispensable de toujours avoir à l'esprit que les risques liés au foudroiement sont de deux types : ceux directement liés au coup de foudre direct, et ceux qui sont des conséquences de la chute de la foudre.

La foudre, de fait, touche rarement une structure. Elle ne tombe en France que 2 millions de fois par an, ce qui représente une densité moyenne de foudroiement de 2 coups de foudre par km<sup>2</sup> et par an.

Quelques exemples de fréquence de foudroiement peuvent être calculés sur des structures communes : le risque de foudroiement d'un grand bâtiment en France est de l'ordre de un coup tous les cent ans. Pour un arbre, il est de un coup tous les 200 ans, et pour un homme, de un coup tous les 10 000 ans.

Mais les manifestations parfois exceptionnelles de la foudre ne doivent pas faire oublier de relativiser les risques réels : le retour d'expérience concernant les être humains conduit à des statistiques de décès liés à un coup de foudre de l'ordre de 25 par an, du même ordre de grandeur que celles journalières dues aux accidents de la route.

### 1.1 Les effets directs

Les effets directs de la foudre peuvent être de natures différentes :

- **Effets thermiques** : au voisinage de la zone de contact canal de foudre-structure, des transferts d'énergie importants ont lieu entre l'arc électrique, dont la température interne peut atteindre 30 000 °K, et les matériaux des structures (effet de taches anodiques ou cathodiques). Par ailleurs, l'amplitude des courants générés par la foudre et transmis aux structures conduit à un effet joule significatif dans les matériaux, en particulier au niveau des connexions arc-structure. Accrus par l'effet de peau, caractéristique des composantes haute fréquence de la foudre, ces deux effets combinés peuvent conduire à des échauffements des matériaux des structures très violents, pouvant occasionner des dommages considérables.
- **Etincelages thermiques** : c'est un cas particulier des effets thermiques. Ces derniers sont tellement intenses qu'ils peuvent se propager à travers les matériaux, jusqu'au niveau de la face interne des structures. Ces effets thermiques peuvent conduire à des

éjections brutales de matières incandescentes. Ce phénomène est particulièrement dangereux en présence de matières inflammables ou explosives (hydrocarbures, poussières...).

- **Effets mécaniques** : le transfert brutal d'énergie entre l'arc de foudre et la structure peut se faire aussi sous forme mécanique. Ces effets peuvent engendrer des déformations de structure, des délaminages dans les matériaux composites stratifiés. Par ailleurs, les courants de foudre injectés dans la structure sont suffisamment intenses pour engendrer, sous certaines conditions, des déformations résultant des forces de Laplace.

## 1.2. Les effets indirects

Les effets indirects sont liés au rayonnement électromagnétique de l'éclair qui, par conduction ou induction, va venir perturber le bon fonctionnement des processus, dispositifs et systèmes électroniques et informatiques d'installations. Or, la complexité toujours croissante de ces installations les rend par ailleurs de plus en plus sensibles.

La détermination des tensions et des courants induits au niveau des équipements est complexe et fait actuellement l'objet de nombreuses études universitaires. Les principaux enseignements sont les suivants :

- la source de champ électromagnétique est le courant de l'arc en retour de la décharge de foudre, et il faut tenir compte de son évolution spatio-temporelle,
- l'atténuation de champ électromagnétique, entre la source d'agression et la victime, doit être prise en compte.

Les surtensions susceptibles d'apparaître à 1 km d'un coup de foudre peuvent atteindre 100 volts par mètre carré de boucle inductive. Ces perturbations ont pour sources aussi bien des décharges nuages-sol que des décharges intra-nuages.

Les effets sont aussi bien de nature :

- **électrique**
  - destructions de systèmes électroniques et de composants,
  - pertes de contrôles-commandes,
  - dérèglements de processus,

- modifications d'informations, en particulier numériques,
- pertes de fichiers informatiques,
  - **thermique**
- étincelage par suite de surtensions et risques d'incendie et d'explosion de matières inflammables,
- mise à feu de systèmes pyrotechniques,
- électromagnétique, par exemple au niveau des antennes d'émission et de réception.

### **1.3. Les effets sur l'homme et les structures**

#### **Effets sur l'homme**

Les effets sur l'homme sont du même type que les effets directs et indirects de la foudre, mais il convient de distinguer deux classes d'effets :

- ceux qui sont directement liés au foudroiement et qui sont de nature thermique, électrique, auditif, oculaire etc. et qui sont très spécifiques à la foudre,
- ceux qui font suite aux conséquences des effets indirects d'un foudroiement ; brûlures liées à un incendie, chutes d'objets, courants électriques à fréquence industrielle de défauts, etc., ce sont d'ailleurs les plus nombreux. Ces effets ne sont pas spécifiques à la foudre.

Dans ces deux cas, les conséquences psychosomatiques des foudroiements ne doivent pas être négligées.

#### **Effets sur les structures**

En ce qui concerne les structures ou les installations, la foudre peut engendrer :

- des incendies, des chutes d'arbres provoquant des accidents,
- des destructions de clochers, d'antennes de télévision, d'équipements électriques et électroniques,
- des explosions de liquides ou de gaz inflammables, par exemple lors du chargement ou du déchargement de bateaux méthaniers,
- des dommages sur les réseaux de lignes électriques ou téléphoniques,
- des dommages sur les sites industriels : installations portuaires, raffineries de pétrole, réservoirs de matières combustibles, installations au sol des aéroports,
- des dommages sur les sites agricoles : silos, élevages, piscicultures.

## **2. Les méthodes de protection**

### **2.1 La protection passive**

Ce type de protection est basé sur la mise en place de dispositifs qui vont :

- d'une part assurer la maîtrise de la connexion de la foudre sur les structures, et évacuer son énergie à la terre (dispositifs paratonnerres de type tige Franklin, cages maillées ou blindage),
- d'autre part, limiter les perturbations électromagnétiques de la foudre, par la mise en place d'un ensemble de mesures permettant la maîtrise des montées en potentiel des sols et des masses et leur écrêtage par des dispositifs para surtenseurs. A ce stade, il faut prendre en considération la totalité des modes de transmission des perturbations électromagnétiques occasionnées par la foudre (lignes électriques, téléphoniques, câbles, conduites métalliques, le sol lui-même, l'air...).

L'analyse et la mise en place de ces systèmes de protection nécessitent une expertise de plus en plus grande au fur et à mesure que les risques et les coûts des risques mis en jeu augmentent.

De plus, pour être efficaces, ces systèmes de protection doivent être étudiés dès la conception des structures et des bâtiments.

Des procédures de maintenance et de vérification des dispositifs doivent également être mises en place.

## 2.2 La protection active

Ce type de protection est basé sur la prévention du risque. Elle repose sur l'alerte et la prévision de processus orageux, actuellement possible grâce à Météo France, au réseau Météorage et au réseau Safir en France, ou grâce à des systèmes de détection localisés.

La protection active permet de mettre en oeuvre des procédures spéciales d'exploitation (par exemple au niveau des mouvements de matières dangereuses), et de surveillance renforcée.

## 2.3 L'information

Certaines activités sont plus sujettes au risque, soit en raison de leur nature, soit en raison de leur fonction. Dans le domaine des loisirs par exemple, les activités de plein air sont évidemment les premières à subir les conséquences des orages. Certains facteurs géographiques peuvent augmenter les risques (montagnes, plaines étendues, lacs, mer, etc.).

La réglementation elle-même prend de plus en plus en compte les risques qui peuvent découler des foudroiements. En particulier, un *arrêté du 28 Janvier 1993* porte obligation à prendre en compte et à protéger les installations classées contre les risques liés aux effets de la foudre.

Plus utilisée actuellement par les professionnels confrontés à des risques, un effort de vulgarisation devrait être mené auprès du grand public afin de lui faire prendre conscience des responsabilités encourues et des risques qu'ils peuvent faire courir, en particulier aux équipes de secours. Un système de type de celui de prévisions des risques d'avalanche permettrait vraisemblablement de diminuer le nombre de victimes de la foudre.

## 3. Les différents systèmes de protection

La protection contre les effets directs (paratonnerre) est beaucoup plus connue que celle contre les effets indirects : les surtensions, consécutives aux coups de foudre, sont véhiculées par les réseaux électriques (EDF) et les réseaux de télécommunications (France Télécom).

Ces surtensions provoquent d'importants dégâts notamment à tout matériel utilisant des composants électroniques sensibles :

téléviseurs, chaînes Hi-fi, ordinateurs, matériels de réception satellite... la liste est longue de nos jours.

Malheureusement, ni EDF ni France Télécom, ne peuvent vous garantir la distribution de leurs courants sans risque de surtensions ! Il est donc nécessaire de s'en protéger individuellement.

L'origine de ces surtensions est diverse : coup de foudre direct ou à proximité des ouvrages de distribution de l'énergie électrique ou de télécommunication (avec propagation dans ces lignes), coup de foudre à proximité d'un bâtiment ou sur une installation de paratonnerre.

Il faut ici distinguer différentes lignes électriques par les fréquences qu'elles véhiculent. Tout d'abord le réseau EDF à 50 Hz, les lignes téléphoniques ou filaires, et les câbles coaxiaux d'antennes. N'oublions pas l'arrivée d'eau : si le tuyau d'alimentation en eau de votre habitation est métallique (cuivre, acier ou plomb), il est capable d'amener la foudre à l'intérieur du bâtiment. Il faut alors prévoir un manchon isolant ou privilégier un tuyau en PVC. Gardez présent à votre esprit que toute canalisation métallique, câble ou autres, peut privilégier le passage de la foudre à l'intérieur d'un bâtiment : il faut donc canaliser vers le sol les surtensions induites par le coup de foudre avant qu'elles atteignent tout appareil ou personne se trouvant à l'intérieur.

### **3.1. Protection primaire : le paratonnerre**

Son rôle est d'écouler au sol les charges électriques au moment de la formation de l'éclair entre sa pointe et le nuage. Il s'agit d'imposer un parcours au courant électrique gigantesque qui s'établit entre la pointe et le nuage : cela implique des conducteurs de section importante et une prise de terre irréprochable dans ses caractéristiques techniques. Sinon une installation "bricolée" peut aboutir à un résultat catastrophique et à un effet inverse qui peut aller jusqu'à la destruction pure et simple du bâtiment protégé. Une telle installation est une affaire de vrai spécialiste et doit obéir à des normes précises. Depuis la pointe de Franklin, passive, sont apparus des paratonnerres actifs : leur principe est basé sur un dispositif d'amorçage dont le but est d'assurer un déclenchement plus rapide du traceur ascendant, c'est-à-dire de favoriser une anticipation du mécanisme de l'éclair de façon à procurer une protection plus importante.

Tout paratonnerre doit être relié à une prise de terre par l'intermédiaire d'un joint de contrôle qui permet les mesures électriques nécessaires de cette prise de terre à l'aide d'un "Tellurohm-mètre" BF pour la mesure de la résistance et HF pour la mesure de l'impédance.

Plusieurs types de prises de terre existent : piquets, grille ou patte d'oie.

Ce dernier type est de loin le plus efficace, car il procure une plus faible résistance et surtout une faible impédance ; plus ces valeurs sont faibles, meilleur est l'écoulement des charges vers le sol.

Ce dispositif de protection contre les effets directs peut être complété par une boucle de fond de fouille et un maillage autour du bâtiment constituant une cage de Faraday.

L'emplacement le plus judicieux d'un paratonnerre n'est pas forcément sur le bâtiment à protéger mais au contraire à côté ! Cette disposition permet «d'éloigner» le bâtiment du coup de foudre direct et de ses conséquences électromagnétiques.

Ne pas oublier l'INTERCONNEXION de toutes les terres sinon toutes les précautions prises sont réduites à néant.



L'installation d'un paratonnerre est régie par la norme NF C 17-100 pour un paratonnerre passif et NF C 17-102 pour un paratonnerre actif comportant un dispositif d'amorçage.

Sachez aussi que si votre habitation est très proche de pylônes électriques de grande hauteur ceux-ci joueront le rôle de paratonnerre, mais ils ne vous protègent pas des effets indirects ou secondaires.

Lorsque le coup de foudre se produit, soit naturellement, soit guidé vers le sol par l'un des dispositifs de protection primaire décrits, le sol est soumis lui aussi à une énorme élévation de potentiel.

C'est d'ailleurs cette différence de potentiel induite qui tue beaucoup plus les animaux à quatre pattes que les foudroiements directs ; leurs pattes avant et arrière sont éloignées (vaches, chevaux) et soumises à une différence de potentiel importante.

Il est d'ailleurs conseillé à un être humain se trouvant dans la nature de se recroqueviller le plus possible en cas d'orage afin d'avoir une emprise sur le sol la plus faible possible ou mieux, de se protéger par une couverture de survie métallisée assurant une protection équipotentielle.

Ce qui est vrai pour les êtres vivants l'est aussi pour tout matériel électrique ou électronique : ce qui est dangereux ce n'est pas le fait d'être porté à un potentiel très élevé, mais c'est de subir une différence de potentiel. Partant de ce principe, comme toute protection primaire ou secondaire doit écouler les charges vers la terre, il faut absolument que tous ces équipements soient reliés à une même terre, sinon le risque subsiste.

### 3.2 Les protections secondaires

La protection contre les effets directs (paratonnerre) est beaucoup plus connue que celle contre les effets indirects : les surtensions, consécutives aux coups de foudre, sont véhiculées par les réseaux électriques (EDF) et les réseaux de télécommunications (France Télécom).

Ces surtensions provoquent d'importants dégâts notamment à tout matériel utilisant des composants électroniques sensibles : téléviseurs, chaînes Hi-fi, ordinateurs, matériels de réception satellite... la liste est longue de nos jours.

Malheureusement, ni EDF ni France Télécom, ne peuvent vous garantir la distribution de leurs courants sans risque de surtensions ! Il est donc nécessaire de s'en protéger individuellement.

L'origine de ces surtensions est diverse : coup de foudre direct ou à proximité des ouvrages de distribution de l'énergie électrique ou de télécommunication (avec propagation dans ces lignes), coup de foudre à proximité d'un bâtiment ou sur une installation de paratonnerre.

Il faut ici distinguer différentes lignes électriques par les fréquences qu'elles véhiculent. Tout d'abord le réseau EDF à 50 Hz, les lignes téléphoniques ou filaires, et les câbles coaxiaux d'antennes. N'oublions pas l'arrivée d'eau : si le tuyau d'alimentation en eau de votre habitation est métallique (cuivre, acier ou plomb), il est capable d'amener la foudre à l'intérieur du bâtiment.

Il faut alors prévoir un manchon isolant ou privilégier un tuyau en PVC. Gardez présent à votre esprit que toute canalisation

métallique, câble ou autres, peut privilégier le passage de la foudre à l'intérieur d'un bâtiment : il faut donc canaliser vers le sol les surtensions induites par le coup de foudre avant qu'elles atteignent tout appareil ou personne se trouvant à l'intérieur.

Le rôle des protections secondaires est de ramener la surtension à une valeur résiduelle acceptable sans engendrer de destruction aux matériels connectés.

Les éléments protecteurs sont essentiellement les éclateurs, les varistances, les diodes à avalanches. Ces trois composants ou leurs associations ne doivent pas apporter de modifications des circuits (pertes) et être le plus efficace possible en cas de surtension : leur résistance doit passer d'une valeur élevée à une valeur la plus faible possible pour favoriser l'écoulement vers le sol via la terre. Des fabricants de matériels spécialisés proposent des montages plus ou moins complexes utilisant ces composants. Ils doivent être placés le plus près possible de l'arrivée des câbles dans le bâtiment à protéger.

Ces appareils de protection peuvent être insérés en parallèle sur l'installation à protéger et sont dans ce cas indépendants de la puissance transmise. Lorsqu'ils sont placés en série ils doivent tenir compte de la puissance absorbée par le matériel connecté ; ils disposent d'un étage limiteur de courant permettant d'obtenir des tensions résiduelles très faibles.

### 3.3 Terres et masses

**L'objectif principal d'un système de mise à la terre est d'assurer la sécurité des personnes et la protection des installations.**

Dans le cas de l'écoulement des courants de foudre, les caractéristiques des réseaux de terre doivent être déterminées pour des courants pouvant atteindre la centaine de kilo ampères et pour des fréquences allant jusqu'au mégahertz.

Les systèmes de mise à la terre permettent de fixer une référence de potentiel. En haute fréquence, toute liaison devient impédante en raison, en particulier, de sa composante selfique. La notion de référence de potentiel longitudinale n'existe plus et la fonction d'un réseau de terre est alors d'une part de maîtriser les différences de potentiel longitudinales de façon à réduire les tensions de pas et de toucher (sécurité des personnes) et d'autre part de limiter les différences de potentiel transversales entre deux points contigus de l'installation, de façon à contribuer à la diminution des perturbations électromagnétiques.

#### *Qu'est-ce qu'une impédance de terre en haute fréquence ?*

**E**n basse fréquence, la terre peut être considérée comme résistive et il est alors possible de calculer la résistance des prises de terre en tenant compte de la forme de l'électrode de terre, des conditions d'installation et de la résistivité du sol.

En haute fréquence, cette approximation n'est plus vraie car il faut tenir compte des composantes selfiques et capacitives de la mise à la terre et des circuits afférents, ainsi que de la caractérisation des sols qui est beaucoup plus délicate qu'en basse fréquence. A cette

caractérisation électrique s'ajoute le fait qu'une représentation localisée des prises de terre n'est plus satisfaisante et il faut alors faire appel pour les modéliser aux théories des lignes de transmission ou des antennes.

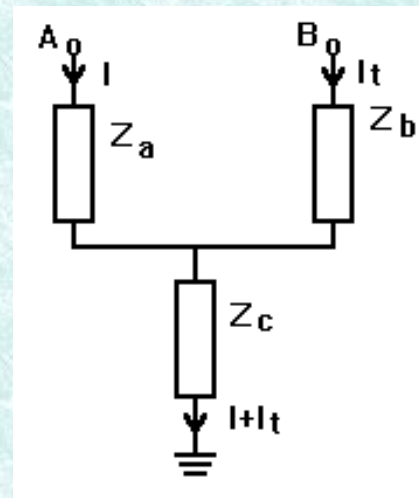
### *L'équipotentialité transversale, une condition sine qua non de l'efficacité des protections*

Nous définirons en premier lieu la notion très théorique de "terre de référence" ou terre parfaite qui est placée "loin du point d'entrée dans le sol du courant de foudre" et dont le potentiel est nul par définition.

L'écoulement du courant qui fait suite à un coup de foudre par le sol va provoquer des montées en potentiel des terres locales, liées au fait que ces dernières ne sont pas parfaites. On modélise cette montée en potentiel par des impédances placées entre le point de mesure de référence et le point de mise ou des mises à la terre de l'installation.

La question du raccordement des masses d'une ou de plusieurs installations, à la terre, peut alors être schématisée comme suit.

Considérons une installation possédant deux mises à la terre distinctes. L'une, appelée A, est affectée à la mise à la terre des dispositifs de protection contre la foudre et est parcourue par le courant de foudre  $I$ . L'autre, appelée B, est dédiée par exemple à la mise à la terre de systèmes électroniques et est parcourue par un courant résiduel  $I_t$ . Il est en général très faible devant  $I$ . Si on appelle respectivement  $Z_A$  et  $Z_B$  les impédances de ces deux mises à la terre par rapport à la terre locale, et si on appelle  $Z_C$  l'impédance existant entre la terre locale et la terre de référence, on peut calculer la montée en potentiel de la terre B par rapport à la terre A en cas de coup de foudre d'intensité  $I$ . On a :



$$V_A = Z_A I + Z_C (I + I_t)$$

$$V_B = Z_B I_t + Z_C (I + I_t)$$

$$\text{D'où } V_{AB} = Z_A I - Z_B I_t$$

Cette tension peut devenir élevée, et elle ne dépend en aucun cas de la qualité de la mise à la terre représentée par  $Z_C$ . Si les deux réseaux de masses A et B sont proches, il peut exister une différence de potentiel suffisante pour occasionner un amorçage entre les deux réseaux.

La diminution des montées de potentiel locales des réseaux de masses est obtenue en interconnectant au maximum tout ce qui peut servir de conducteur de retour aux courants de terre. Cela permet d'une part de diminuer les impédances de réseaux de masses, d'autre part, de répartir les courants de terre entre plusieurs conducteurs (diminution globale de  $Z_A I$ ).

On appellera "réseau de masses" ou "terre locale" d'une installation l'ensemble des réseaux permettant d'assurer la référence de potentiel transversale d'une ou d'un ensemble d'installations.

La condition essentielle et fondamentale de la qualité d'une protection contre les effets électromagnétiques de la foudre consiste à limiter les différences de potentiel transversales entre deux points de circuits de masses adjacents, de façon à supprimer les causes d'amorçages.

Du même coup, ces dispositions limiteront les différences de potentiel longitudinales, sources de courant de circulation.

Ce qui vient d'être dit conduit tout naturellement à **préconiser des réseaux de masses maillés** par rapport aux traditionnels réseaux de masses en étoile.

### Le réseau de masses

Le réseau de masses type est constitué de l'ensemble des masses métalliques du site à protéger et en particulier :

- les masses des bâtis et des baies,

- les chemins de câbles formés de goulottes métalliques, fermés par un couvercle métallique, et dont tout les éléments sont assemblés entre eux par boulonnages ou par tresses soudées,
- la structure métallique des faux planchers,
- toutes les structures métalliques des bâtiments, pylônes, antennes,
- les conducteurs de descente des pointes caprices,
- un collecteur de masses ceinturant les locaux où sont installées les structures à protéger, et réalisé par exemple en plat de cuivre.

Chacun de ces éléments participent au maillage des réseaux de masses, et a un effet réducteur important contre les champs électromagnétiques rayonnés par les éclairs et les courants de circulation conséquents.

La difficulté majeure réside dans l'application de ces principes, aussi bien en ce qui concerne la réalisation de nouveaux équipements qu'en ce qui concerne la conservation ultérieure de leurs caractéristiques. En particulier, il est nécessaire d'assurer la coordination des raccordements des masses entre services ou unités ayant des fonctions et des besoins différents. En effet, la réalisation successive d'installations tend à favoriser de fait la mise en place de réseaux de masses en étoile qui vont à l'encontre de l'objectif recherché du maillage des masses.

### *Le réseau de terre*

Ce qui vient d'être dit laisse supposer que l'on pourrait accepter de mauvaises terres et même s'en passer. Ceci serait vrai si l'installation s'apparentait à une cage de Faraday parfaite ; mais il n'en est rien : il faut veiller à la qualité des mises à la terre pour les raisons suivantes.

- La mise à la terre des réseaux de masses est une obligation légale : le réseau de terre doit être conforme à la normalisation relative à la sécurité des personnes (NF-C15 100 )
- Rappelons qu'il est nécessaire de limiter les différences de potentiel longitudinales et en particulier les tensions de pas. Ceci est particulièrement vrai au niveau de la zone périmétrique des circuits de terre et des prises de terre.

- Enfin, la qualité de la prise de terre peut limiter les conséquences liées à la mauvaise réalisation du réseau de masses en limitant la valeur des différences de potentiel transversales.

### *La mise à la terre des dispositifs de maîtrise de la connexion au sol*

Les conducteurs susceptibles d'être parcourus par le courant de foudre, et en particulier ceux assurant le raccordement à la terre des dispositifs de capture de la foudre, génèrent des champs électromagnétiques, sources de perturbations pour les installations. De façon à limiter cette influence, ces conducteurs dits "de descente" seront répartis autant que possible autour de l'installation qui fait l'objet de la protection. Les cages maillées ou les ferraillements du béton armé constituant les bâtiments, pourront être utilisés pour participer à cette fonction.

## **3.4 Les liaisons par câbles**

En haute fréquence, l'équipotentialité ne pouvant être assurée, il faut compenser les différences de potentiel longitudinales qui apparaissent le long des câbles. Ceci conduit à utiliser des câbles sous écran dont la valeur de l'impédance de transfert ne prendra pas de valeurs excessives dans le domaine de fréquences considérées.

Dans le cas général où les signaux utiles transités sont d'un niveau suffisant par rapport aux signaux perturbateurs, les blindages des câbles seront connectés à la masse aux deux extrémités et régulièrement aux masses adjacentes le long du parcours de la liaison.

Dans les cas particuliers où il y aurait couplage prohibitif entre le courant perturbateur circulant dans le blindage et le courant utile circulant dans le conducteur,

- pour les liaisons courtes, le blindage ne sera connecté qu'en un seul point. Il faut alors maîtriser les montées en potentiel entre le conducteur, le blindage et les masses, à l'extrémité où le blindage n'est pas connecté à la masse,
- dans le cas de liaisons longues, une solution consiste à utiliser un double blindage, le premier étant relié à la masse des deux côtés, le blindage interne n'étant connecté à la masse qu'en un seul point.

Il faut veiller à ne pas créer des boucles de masses inutiles. En effet, ces boucles de masses forment une antenne pour le champ magnétique. Un exemple de ce type est fréquent dans le domaine de l'informatique. Les conducteurs d'alimentation sont installés près du sol dans des goulottes plastiques, tandis que les liaisons des réseaux informatiques cheminent en faux plafond. Pour un local de 50 m<sup>2</sup> et 2 m de haut, on atteint ainsi aisément des boucles de plusieurs centaines de m<sup>2</sup>. Les surtensions induites dans ces boucles

peuvent atteindre facilement la centaine de volts ! **Les cheminements des liaisons doivent être proches et parallèles.**

Si des interférences entre liaisons fonctionnelles (énergie, contrôle-commande ...) sont à craindre, on fera cheminer les câbles de fonction identique dans des goulottes métalliques séparées, faradisées au mieux et régulièrement reliées entre elles et aux autres masses.

### 3.5 La protection des réseaux de distribution d'énergie électrique

Il serait illusoire de croire qu'il existe un dispositif idéal ou des méthodes de protection absolues qui permettraient de se prémunir totalement des perturbations foudre transitant par les réseaux d'énergie. Les principes de la protection d'énergie s'appuient sur une cascade de protections de plus en plus sensibles, en fonction de la nature et du type d'installations à protéger : on ne protège pas un convecteur électrique comme on protège un système informatique.

Il n'est pas question ici de donner la liste de tous les appareils de protection disponibles chez de nombreux constructeurs d'appareils électriques ; chacun propose dans son catalogue des produits similaires.

La protection contre les surtensions en provenance du secteur consiste à disposer des parafoudres ou éclateurs entre chaque fil (neutre et phase en monophasé, neutre et chacune des trois phases en triphasé) et la terre. Ces dispositifs sont à placer au plus près du dispositif de coupure, en parallèle sur les fils d'alimentation de l'installation ; la borne terre doit bien évidemment être raccordée à une terre digne de ce nom dont la valeur aura été mesurée au préalable.

*Je vous rappelle qu'il est interdit et extrêmement dangereux d'utiliser une canalisation sanitaire (alimentation ou évacuation) en tant que terre.*

- **Les parafoudres**

A l'entrée d'un réseau d'énergie en basse tension, et dans l'état actuel des techniques, il est nécessaire de prévoir un dispositif à tension d'amorçage élevée (2,5 kV) et à fort pouvoir d'écoulement, quitte à prévoir d'autres protections plus sensibles en aval. En effet, les parafoudres sont fragilisés par des sollicitations trop fréquentes.

A minima, on installera un parafoudre entre chaque phase et la masse et entre le neutre et la masse. Ils auront pour rôles de limiter les différences de potentiel entre les différentes phases, le neutre et les masses.

L'efficacité du parafoudre sera directement liée à la minimalisation de la boucle de raccordement au réseau qu'il protège. En particulier, la longueur de connexion au réseau de masses maillé doit être la plus courte possible.

- **Le disjoncteur différentiel**

Bien que ne constituant pas à proprement parler, une protection contre les effets de la foudre, il est généralement conseillé de dimensionner un des disjoncteurs différentiels de façon à garantir la coupure de l'alimentation en cas d'un défaut de mise en court-circuit d'un parafoudre. La mise en place d'un dispositif de temporisation permet de s'affranchir des transitoires liés aux perturbations foudre. Un dispositif automatique de réenclenchement peut également être prévu.

- **Le transformateur d'isolement**

Dans le cas d'installations mettant en oeuvre des composants électroniques et de puissance modérée, il est conseillé d'installer un transformateur d'isolement qui va avoir pour rôle de bloquer les surtensions de mode commun inférieures à la tension de fonctionnement des parafoudres. Le transformateur d'isolement permet également le changement de régime de neutre.

- **Les cascades de parafoudres**

Dans le cas où on ne choisit pas d'utiliser un transformateur d'isolement, on peut utiliser des cascades de parafoudres, de niveaux de fonctionnement de plus en plus faibles. Le principe consiste alors à écouler les surtensions de forte énergie, à l'entrée du site à protéger, et de procéder à la protection de l'installation elle-même au plus près avec un parafoudre de niveau de protection adapté. On fera suivre, par exemple, le parafoudre de niveau 2,5 kV situé à l'entrée du réseau d'énergie, d'un parafoudre 1,5 kV au plus près de



l'appareil à protéger. La difficulté essentielle est alors que les parafoudres, se trouvent virtuellement en parallèle ! On assurera alors leur découplage en interposant une self supérieure à 100  $\mu$ H entre les étages de parafoudres de classes distinctes, cette self pouvant d'ailleurs être constituée par le câble de liaison entre les parafoudres s'il est de longueur supérieure à 100 m.

### **3.6 La protection des réseaux à bas niveaux (communications, mesures, contrôle-commande...)**

Les câbles pénétrant dans une installation protégée seront de préférence blindés, à gaine coaxiale ou triaxiale. L'écran externe du câble devra être connecté à la masse de l'installation, au plus près du point d'entrée. Les niveaux des perturbations susceptibles d'affecter les réseaux à bas niveaux devront être compatibles avec les niveaux admissibles pour les installations en aval.

Dans le cas contraire, un écrêtement sera réalisé au niveau admissible pour l'installation, par l'une ou l'autre des techniques suivantes :

- parafoudres,
- filtrages,
- barrières optoélectroniques,
- entrées en guides d'onde.

En cas d'impossibilité de traitement par un de ces moyens, on peut utiliser un découplage optoélectronique complet et utiliser des fibres optiques comme moyen de transmission de l'information.

Dans tous les cas, la connexion des dispositifs de protection aux réseaux de masses doit être la plus soignée possible, en respectant les conditions déjà énoncées, c'est-à-dire :

- un réseau de masses maillé,
- des connexions de masse les plus courtes possibles.

## 3.7 Efficacité de ces systèmes

Comme vous l'avez certainement compris la première limitation est liée à la tension résiduelle : si l'appareil protégé ne peut admettre qu'une tension inférieure à celle de l'appareil de protection, celle-ci n'est pas totale. Par contre, les dégâts pourront se limiter aux circuits d'entrée et ne pas provoquer une destruction totale des circuits électriques.

Si vous utilisez plusieurs dispositifs parafoudre n'oubliez pas de réunir leurs sorties terre à la même terre, en respectant la valeur de la section du conducteur de terre indiquée par le constructeur (de 6 à 16 millimètres carré). Il faut aussi prendre en considération l'intensité du coup de foudre et sa localisation par rapport à votre habitation. Plus celui-ci sera proche, plus les dégâts risquent d'être importants.

L'installation des dispositifs parafoudre fait également l'objet d'une norme, la norme NF C 15-100. Si vous ne voulez pas investir dans des appareils de protection, il vous reste une solution simple : DEBRANCHEZ ! Oui, mais DEBRANCHEZ TOUT ! Il ne sert à rien de débrancher l'arrivée d'une antenne sur un téléviseur ou un récepteur satellite si vous ne débranchez pas l'alimentation sur le secteur, voire la liaison téléphonique pour le modem (idem pour un ordinateur). Et il y a une manière de débrancher : ne laissez pas fiche et prise à 5 centimètres l'une de l'autre : s'il y a un coup de foudre l'arc électrique passera malgré tout.

Nous l'avons vérifié un jour d'orage à nos dépens. Maintenez éloignées prise et fiche d'une distance d'au moins 50 centimètres !


## La prise de terre

Dossier réalisé par [Dan](http://www.etrronics.fr.st) - <http://www.etrronics.fr.st>

### Descriptions

EDF fournit son énergie par le biais de deux conducteurs phase et neutre. En sortie du transformateur électrique, EDF couple le neutre à la terre.

### Symboles

Les appareils de classe I ont le symbole  collé (généralement) derrière

### Unités - Formules

Si un appareil électrique montre un défaut d'isolation entre son système électrique et sa carcasse métallique, le risque d'électrocution est élevé (exemple: machine à laver). En effet, la personne qui

touchera l'appareil servira de conducteur électrique. Le courant passera de la machine à la terre par son intermédiaire. En revanche, si la carcasse de l'appareil est reliée à la terre, le fait de toucher l'appareil défectueux n'entraîne pas d'électrocution. En effet, la différence de potentiel entre la terre, la carcasse et la personne est nulle.

Tous les appareils de classe I doivent être reliés à la terre. Il s'agit le plus souvent des machines électriques, certains chauffages, certains luminaires.

La résistance de la prise de terre est une donnée fondamentale pour optimiser la sécurité de votre logement. La résistance de la prise de terre est fonction de la résistivité du sol. Celle-ci dépend du type de sol sur lequel est installée la construction. La résistivité du sol dépend aussi du climat : plus un sol est humide et plus sa résistivité est faible. Le gel et la sécheresse augmente la résistivité. La résistivité du sol est indiquée en ohms/mètre.

### *Résistivité d'un terrain selon sa composition*

<i>nature du terrain</i>	<i>résistivité moyenne</i>
sol marécageux	<b>3 -30</b>
limon	<b>20-100</b>
humus	<b>10-150</b>
tourbe humide	<b>5-100</b>
argile plastique	<b>50</b>
marnes et argiles compactes	<b>100-200</b>

marnes du jurassique	<b>30-40</b>
sable argileux	<b>50-500</b>
sable siliceux	<b>200-3000</b>
sol pierreux	<b>1500-3000</b>
sol pierreux et gazon	<b>300-500</b>
sol calcaire tendre	<b>100-500</b>
sol calcaire compact	<b>1000-5000</b>
schiste	<b>50-300</b>
micaschiste	<b>800</b>
granit et grès	<b>1500-10000</b>
granit et grès altérés	<b>100-600</b>

**Résistance d'une prise de terre selon le type de terrain et la technique d'installation**

<b>technique utilisée</b>	<b>arables gras remblais humide</b>	<b>arables maigres remblais grossiers</b>	<b>sol pierreux sec sable sec</b>
boucle fond de fouille	3-10	30-60	100-200
1 piquet vertical de 2 mètres	2-75	220-300	750-1500

4 piquets verticaux aux angles	6-18	60-120	300-600
tranchée de 10 mètres	3-8	23-45	120-220

## Valeurs

Si la résistance de votre prise de terre est supérieur à 100 ohms, il est impératif d'installer des protections différentielles de 30 mA.

## Utilisations

Le conducteur de terre a pour couleurs le jaune et le vert. Pour des raisons de sécurité, il est indispensable et même obligatoire de posséder un circuit général de mise à la terre qui sera répartie dans l'habitation.

## Composition

Le conducteur de terre a pour couleurs le jaune et le vert. Pour des raisons de sécurité, il est indispensable et même obligatoire de posséder un circuit général de mise à la terre qui sera répartie dans l'habitation. Il n'est pas difficile de réaliser ce dispositif. Il existe 4 types de mise à la terre autorisés. Selon le cas, la qualité est plus ou moins bonne. La boucle à fond de fouille étant la meilleur solution.

### Boucle à fond de fouille

De loin, la technique la plus efficace, elle consiste à creuser une tranchée autour de la maison puis à enterrer un câble dénudé qui formera une boucle. La résistance est de l'ordre de 100 ohms.

Vous devrez utiliser un fil de cuivre nu de 25 mm<sup>2</sup> (ou 95 mm<sup>2</sup> pour de l'acier galvanisé).

## Résistance de la prise de terre = 2 X résistivité du sol (en ohms par mètre) / longueur de la boucle

### Piquet vertical

Le piquet vertical est d'utilisation courante. Pourtant, cette technique est d'un résultat moyen si elle est utilisée sur un sol pierreux, calcaire ou granitique; c'est à dire un terrain sec. Sur un sol plutôt humide, cette technique offre une bonne qualité de résistance (très faible) et une réalisation simple.

Elle consiste à planter un piquet dans le sol et d'y relier le conducteur de terre. Il est fortement recommander de réaliser un regard de visite pour vérifier l'état de la connexion et la protéger de la corrosion. La connexion peut être entourée d'un goudron ou d'un mastic.

A noter qu'il est possible de placer plusieurs piquets pour améliorer la qualité de la résistance.

$$\text{Résistance de la prise de terre} = (1 / \text{nombre de piquets}) \times (\text{résistivité du sol} / \text{longueur d'un piquet})$$

### Tranchée

Cette technique consiste à creuser une tranchée de 1 mètre de profondeur et de 10 mètres de long et d'y placer un conducteur de cuivre nu de 25 mm<sup>2</sup>. Si vous suivez les canalisations d'eau, de gaz ou d'électricité, vous devez laisser un espace de 20 centimètres entre les deux tranchées.


### Canalisations d'eau

Les canalisations d'eau peuvent servir de mise à la terre à conditions qu'elles soient en métal. L'accord du distributeur d'eau est nécessaire. En revanche, il est interdit d'utiliser les canalisations de gaz, de chauffage central...


### Barrette de mesure


La borne principale de terre ou barrette de mesure est obligatoire pour l'installation d'une prise de terre. Elle est intercalée entre le circuit principal de l'habitation et le conducteur de sortie qui sera branchée dans le sol. Cette borne doit être facilement accessible et démontable.



 **Contact**



 **Plan du Site**

 **Mentions légales**

