

PRÉFACE

Depuis les temps les plus reculés de l'humanité, la foudre est connue et ses effets sont redoutés. Le paratonnerre, inventé par Benjamin Franklin en 1752, a permis de s'affranchir des dégâts causés aux bâtiments et édifices, et à leur contenu. Mais aujourd'hui, le développement accéléré des techniques électriques et électroniques, dont les équipements ont une sensibilité extrême aux effets de la foudre, a induit un regain d'intérêt pour la recherche sur les phénomènes orageux et sur les moyens pour se protéger de leurs effets néfastes.

Les équipements électriques, l'informatique, l'audiovisuel, les télécommunications envahissent tous les domaines de l'activité humaine, comme l'industrie, l'artisanat, le tertiaire, la domotique. Aussi, de plus en plus de personnes sont appelées à s'intéresser aux conséquences des phénomènes orageux, non plus seulement les physiciens de la foudre, mais les architectes pour ce qui concerne la protection des bâtiments, les installateurs pour ce qui concerne la protection des matériels, et bien sûr les utilisateurs des diverses techniques électriques et électroniques.

Nous constatons ainsi qu'un large éventail de professions, voire le grand public lui-même, est confronté aux effets de la foudre. Or la grande majorité des personnes ne dispose, même aujourd'hui, d'aucune connaissance, ou que des connaissances très fragmentaires sur les phénomènes orageux, sur la foudre, ou sur les moyens de s'en protéger.

Dans cette perspective, la nécessité se fait sentir depuis plusieurs années, de réunir dans un glossaire les termes et concepts relatifs à la physique des orages et aux méthodes et techniques de protection, accompagnés de leur explication. Le Groupe d'Intérêt Protection 25-50 et l'Association pour la Protection contre la Foudre (APF) se sont attelés à cette tâche, et publient, pour la première fois en langue française, un tel glossaire.

Le glossaire présenté aujourd'hui propose, dans une première partie, une terminologie par classement thématique : la signification des termes et concepts est sommairement expliquée, et, pour la terminologie figurant déjà dans les textes normatifs, les définitions données par les normes en vigueur ont été autant que possible reprises. Dans une deuxième partie, un classement simplement alphabétique de l'ensemble des termes permettra de retrouver plus facilement un terme recherché.

Ce glossaire est sans doute perfectible, mais dans cette première version, le lecteur intéressé est assuré de trouver la définition et l'explication de la majorité des termes qu'il pourra rencontrer dans la littérature spécialisée.

SOMMAIRE

PRÉFACE	1
SOMMAIRE	4
GLOSSAIRE DE SCIENCE ET TECHNIQUE	5
1 - PHYSIQUE DES ORAGES ET DE LA Foudre	7
2 - PARAMETRES ÉLECTRIQUES DE LA Foudre	11
3 - EFFETS DE LA Foudre	13
4 - INSTALLATION EXTÉRIEURE DE PROTECTION CONTRE LA Foudre	17
5 - INSTALLATION INTÉRIEURE DE PROTECTION CONTRE LA Foudre	21
6 - ANALYSE DU RISQUE	27
INDEX	30

GLOSSAIRE DE KÉRAUNOPATHOLOGIE

TERMES MÉDICAUX RELATIFS AUX EFFETS DE LA Foudre SUR LES ETRES VIVANTS,

L'ETRE HUMAIN EN PARTICULIER	39
1 - PHYSIOPATHOLOGIE DU Foudre	41
2 - ÉPIDÉMIOLOGIE ET CLINIQUE DES Foudre	46
3 - TRAITEMENT D'URGENCE - PROTECTION DES PERSONNES - PRÉVENTION DES Foudre DE PERSONNES	51

**GLOSSAIRE
DE SCIENCE ET TECHNIQUE**

PHÉNOMENES ORAGEUX

FOUDRE ET SES EFFETS

**PROTECTION DES STRUCTURES
ET DES BATIMENTS**

1 - PHYSIQUE DES ORAGES ET DE LA Foudre

ORAGE

Phénomène météorologique d'instabilité atmosphérique, au cours duquel des turbulences développent des charges électriques dans l'air, notamment au sein de nuages orageux. Ces charges sont la cause de décharges électriques violentes, dites "décharges atmosphériques"

NUAGE ORAGEUX

On distingue deux types de nuages orageux:

- les cumulo-nimbus, grosses masses en forme d'enclume, qui donnent lieu aux orages de chaleur, très localisés et de durée limitée
- Les orages frontaux ou lignes de grains, qui peuvent se propager sur des milliers de kilomètres. Dans les deux cas, ces nuages sont le siège de charges électriques, les charges positives étant rassemblées à leur sommet, et les charges négatives à leur base. Un îlot de charges positives existe parfois à la base d'un nuage.

CHAMP ELECTRIQUE AU SOL

La dissociation des charges dans le nuage orageux entraîne la génération d'un champ électrique intense dans l'espace nuage-sol. Lorsque qu'il atteint, au niveau d'un sol plan, une intensité de 4 à 10 kilovolts par mètre, selon les conditions locales, une décharge au sol est imminente. Commentaire: les charges électriques induites à la surface du sol par le nuage sont généralement positives. Le vecteur représentatif du champ est alors vertical, orienté du sol vers le nuage.

DECHARGE ATMOSPHERIQUE

On distingue essentiellement deux types de décharges, qui seront détaillées ci-dessous.

ECLAIR

Dans le langage courant, on désigne par le terme "éclair" la manifestation lumineuse d'une décharge atmosphérique.

ECLAIR INTER - NUAGE / INTRA - NUAGE

Décharge électrique d'origine atmosphérique qui se développe à l'intérieur d'un nuage orageux (éclair intra-nuage) ou entre nuages (éclair inter-nuages). Ce type d'éclairs n'est pas pris en considération pour la protection des installations au sol.

FOUDRE / ECLAIR A LA TERRE

Décharge électrique violente d'origine atmosphérique, qui se développe entre un nuage et la terre, consistant en un ou plusieurs coups de foudre (CEI 1024-1), voir ce terme.

Commentaire : il existe plusieurs types de foudre / d'éclairs, qui seront décrits plus loin.

CANAL IONISE / CANAL DE Foudre

Chemin filiforme faiblement conducteur, présentant de multiples ramifications, qui se trace à travers l'air atmosphérique, sous l'effet de processus d'ionisation. Au passage de courants de foudre, il s'échauffe jusqu'à des températures de 30000° K et devient fortement conducteur : c'est le Canal de Foudre. Son diamètre est alors de l'ordre du centimètre.

ION, IONISATION

Un ion est un atome ou une molécule portant une charge électrique soit par déficit (ion positif), soit par apport (ion négatif) d'un ou de plusieurs électrons. L'ionisation est l'ensemble des processus physiques par lesquels les ions sont créés.

FOUDRE NEGATIVE DESCENDANTE ECLAIR NEGATIF DESCENDANT

C'est la foudre normale, la plus fréquente en plaine et en terrain vallonné (en France, 90% des éclairs sont, en moyenne sur une année, négatifs; en fait, cette proportion varie de 60% en hiver à 95% en été, le reste est constitué d'éclairs positifs). Elle se compose de plusieurs phases successives.

TRACEUR DESCENDANT / TRACEUR PAR BONDS / PRECURSEUR PAR BONDS

Première phase : formation d'un canal ionisé faiblement lumineux, issu du nuage, portant des charges négatives, et qui progresse par bonds vers la terre. C'est donc un traceur négatif.

PREDECHARGE ASCENDANTE / TRACEUR ASCENDANT

Deuxième phase : lorsque le traceur descendant s'est suffisamment approché du sol, des "prédécharges ascendantes" naissent en différents points du sol, préférentiellement à partir d'aspérités ou d'objet pointus, et se développent en direction du traceur. L'une de ces prédécharges rencontre le traceur descendant, c'est pourquoi cette prédécharge est appelée "décharge de capture"; c'est elle qui détermine le(s) point(s) d'impact(s) de la foudre au sol.

ARC EN RETOUR

Troisième phase : la rencontre entre le traceur descendant et la décharge de capture établit un pont conducteur entre le nuage et le sol, par lequel va pouvoir s'écouler un intense courant électrique, se propageant de la terre vers le nuage, et neutralisant celui-ci. Ce courant, de nature impulsionnelle, est appelé "arc en retour". Il est la cause de la violente illumination du canal de foudre; il est responsable du tonnerre, mais surtout des dégâts produits par un foudroiement. Un éclair négatif descendant peut comporter plusieurs arcs en retour successifs.

COUP DE Foudre

L'un des arcs en retour lors d'un éclair à la terre, qui peut être respectivement le "premier coup" ou l'un des "coups subséquents".

FOUDRE POSITIVE

Décharge électrique issue d'une zone de nuage portant des charges positives. Ce type de décharge atmosphérique débute également par un traceur, portant ici des charges positives, et ne comporte qu'un seul arc en retour, toutefois de beaucoup plus longue durée que les arcs en retour négatifs. Seuls 10% des coups de foudre sont positifs, mais ils causent des dégâts plus importants, en raison de la forte énergie qu'ils dissipent.

FOUDRE ASCENDANTE / ECLAIR ASCENDANT

Lorsqu'une décharge ascendante est issue d'une aspérité de grande hauteur (pic montagneux, tour de télévision, immeuble de grande hauteur), elle peut se développer jusqu'au sein du nuage, même en l'absence de tout traceur descendant. Ce type de décharge atmosphérique peut comporter plusieurs arcs en retour, mais dissipe généralement une énergie modérée.

COURANT PERSISTANT

Pendant l'intervalle entre les courants d'arcs en retour, il subsiste souvent un courant permanent de faible intensité (de l'ordre de quelques centaines d'ampères), dont l'extinction coïncide avec la fin du coup de foudre.

EFFET DE COURONNE

Phénomène d'ionisation dans l'air, qui se déclenche lorsque le champ électrique dépasse, à pression atmosphérique normale, une amplitude de 26 kilovolts par centimètre. Ce phénomène se développe généralement au sommet d'un objet conducteur pointu, où il y a amplification locale

du champ ambiant. Il prend la forme d'effluves de couleur bleu-violette, et le processus physique correspondant est l'avalanche électronique. La formation d'un effet de couronne est la condition nécessaire au développement d'une prédécharge ascendante.

FEU DE ST ELME

Nom ancien de l'effet de couronne, donné par les navigateurs du Moyen Age, alors qu'ils observaient ce "feu" au sommet des mats de leurs navires.

POINT D'IMPACT

Point où un coup de foudre frappe la terre, une structure ou une installation de protection contre la foudre.

IMPACT DIRECT

Coup de foudre frappant directement une structure, un bâtiment, une ligne aérienne, ou l'installation extérieure de protection contre la foudre.

IMPACT LATERAL

On parle d'impact latéral lorsque la foudre frappe un objet ou une structure au-dessous de son sommet; ce type d'impact se produit sur les structures de grande hauteur.

EFFET INDIRECT

Effet d'un coup de foudre frappant le sol au voisinage d'une structure, d'un bâtiment ou d'une ligne aérienne, mais pouvant néanmoins causer des dommages.

FOUDROIEMENT

Action de la foudre sur un objet ou sur une construction quelconque, ou sur un homme ou un animal.

KERAUNIQUE

Adjectif issu du mot grec keraunos (= foudre), il qualifie tout ce qui se rapporte aux phénomènes orageux et à leurs conséquences.

SEVERITE ORAGEUSE

La sévérité orageuse exprime la fréquence d'occurrence des orages ou de la foudre en un lieu donné. On la définit habituellement de deux manières.

NIVEAU KERAUNIQUE

Il exprime la sévérité orageuse par le nombre de jours par an où le tonnerre est entendu en un lieu donné. En France le niveau kéraunique est compris entre 10 pour les régions du nord-ouest et 36 pour certaines régions fortement foudroyées du sud-est. Il est à noter que des valeurs aussi élevées que 66 ont été occasionnellement enregistrées dans le Cantal. Le niveau kéraunique est déterminé de façon empirique; il est aujourd'hui devenu obsolète et est supplanté par la notion de densité de coups de foudre.

DENSITE DE FOUDDROIEMENT

Cette densité s'exprime en nombre d'impacts par kilomètre carré et par an. Pour le territoire français, elle est comprise entre moins de 1 impact / km².an et 4 impacts / km².an. Cette densité est déterminée scientifiquement à partir de capteurs répartis sur le territoire. On définit aussi une densité d'arcs en retour. La densité moyenne d'arcs en retour vaut à peu près 2,2 fois la densité d'impacts (NF C 17-102).

DECHARGE DE CAPTURE

Celle des prédécharges ascendantes qui entre en contact avec le traceur descendant.

DISTANCE D'AMORCAGE

Distance entre le point d'origine de la décharge de capture et le point de rencontre avec le traceur descendant. Cette distance joue un rôle essentiel dans la définition de la zone de protection d'un paratonnerre (voir ces termes).

RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUE

Onde électromagnétique rayonnée à partir du canal de foudre. Il est admis aujourd'hui que les traceurs et prédécharges, et notamment l'activité d'ionisation à leur tête, génèrent des ondes dont le spectre de fréquences se situe dans le domaine de la VHF (au dessus de 100 MHz). L'arc en retour génère un rayonnement de beaucoup plus forte amplitude, mais couvrant un spectre inférieur à 1 MHz. Jusqu'à une distance de l'ordre de 200 mètres d'un arc en retour, l'amplitude du champ d'induction magnétique peut s'évaluer par simple application du théorème d'Ampère, soit $B = \mu_0 I / 2\pi d$

2 - PARAMETRES ÉLECTRIQUES DE LA Foudre

PARAMETRES DES ARCS EN RETOUR

Les arcs en retour étant responsables de la majorité des dégâts causés par la foudre, il importe d'en bien connaître leurs caractéristiques. On définit les grandeurs suivantes.

FORME DU COURANT D'ARC EN RETOUR

Ce courant est de nature impulsionnelle, et sa forme se caractérise par une valeur de crête, un front de montée jusqu'à la crête (ou temps de montée), un temps de décroissance.

VALEUR DE CRETE DU COURANT

Valeur maximale atteinte par l'intensité d'une impulsion de courant. Cette valeur est variable d'un coup de foudre à l'autre, et couvre une très grande plage d'intensités. Les valeurs de crête s'étendent de 2 à 200 kiloampères pour les coups négatifs, avec une médiane d'environ 30 kiloampères, et de 5 à 300 kiloampères pour les coups positifs, avec une médiane d'environ 35 kiloampères.

TEMPS DE MONTEE

Durée entre l'instant du début de l'impulsion de courant et l'instant où ce courant atteint sa valeur maximale. Cette durée est de 2 à 20 microsecondes pour le "premier coup", de 0,1 à 1 microseconde pour les "coups subséquents" des coups de foudre négatifs. Elle est de l'ordre de 100 à 200 microsecondes pour les coups positifs.

DUREE CONVENTIONNELLE DE FRONT

L'instant de début de l'impulsion étant souvent malaisé à déterminer, on définit une origine et une durée de front conventionnelles comme suit :

- pour une tension :
 - soient T90 le temps où l'impulsion atteint 90% de sa valeur de crête, et T30 le temps correspondant à 30% de cette valeur. L'origine conventionnelle est le point d'intersection de la droite passant par ces deux points avec l'axe du temps; la durée conventionnelle de front est donnée par $T_f = 1,67(T90 - T30)$.
- pour un courant :
 - soient T90 le temps où l'impulsion atteint 90% de sa valeur de crête, et T10 le temps correspondant à 10% de cette valeur. L'origine conventionnelle est le point d'intersection de la droite passant par ces deux points avec l'axe du temps; la durée conventionnelle de front est donnée par $T_f = 1,25(T90 - T10)$.

TEMPS DE DECROISSANCE

Durée entre l'origine conventionnelle et l'instant où la valeur de l'onde est retombée à 50% de la valeur de crête. Pour les courants de foudre, cette durée est de l'ordre de 100 microsecondes pour les coups négatifs, et de l'ordre de 1000 microsecondes pour les coups positifs.

RAIDEUR DE L'IMPULSION

Elle s'exprime en kiloampères par microseconde. La raideur maximale a toujours lieu au cours du front de montée. On utilise souvent la raideur moyenne du front 11 12 de montée : c'est le quotient de la différence des valeurs de courant au début et à la fin d'un intervalle de temps spécifié, par cet intervalle de temps, soit : $\{i(t_2)-i(t_1)\} / (t_2-t_1)$. La médiane de cette raideur étant de 30 à 40 KA/ μ s, celle-ci peut atteindre 150 KA/ μ s. Ce paramètre sert au calcul des tensions induites dans les circuits électriques proches du canal de foudre.

ENERGIE SPECIFIQUE

Elle s'exprime en joules par ohm, ou en ampères carrés x seconde, et représente l'énergie que le courant d'un coup de foudre peut dégager dans une résistance de un ohm. Ce paramètre sert à l'estimation des effets thermiques de la foudre. Sa valeur est comprise entre $6 \cdot 10^3$ J/ Ω pour un coup faible négatif et $1,5 \cdot 10^7$ J/ Ω pour un violent coup positif.

CHARGE TOTALE

Elle s'exprime en coulombs, et représente la charge électrique totale écoulee par un éclair. Elle se définit aussi par l'intégrale par rapport au temps du courant de foudre pendant la durée totale du éclair. Ce paramètre sert à l'estimation de la quantité de métal fondu au point d'impact, sur une tige de paratonnerre ou sur une tôle. Cette charge d'un est comprise entre 1 C pour un coup faible négatif et 350 C pour un violent coup positif, avec une médiane d'environ 10 C.

CHARGE IMPULSIONNELLE

Charge électrique écoulee par une impulsion individuelle d'un coup de foudre. Elle se définit aussi par l'intégrale par rapport au temps du courant de foudre pendant la durée de l'impulsion.

DUREE D'UN ECLAIR

Durée totale pendant laquelle un courant s'écoule par le canal de foudre, comprenant les courants d'arc en retour et le courant persistant. En moyenne d'une centaine de millisecondes, cette durée peut atteindre 3 secondes pour les coups de foudre très violents.

NOMBRE D'ARCS EN RETOUR

Ce nombre inclut le premier coup et les coups subséquents. En moyenne de 2 arcs, ce nombre peut atteindre 12 arcs pour les coups de foudre très violents, et même quelques dizaines exceptionnellement (des valeurs de 34 dans le Massif Central, 40 en Autriche, ont été observées).

ONDE DE CHOC ACOUSTIQUE, TONNERRE

Onde de pression dans l'air au voisinage immédiat du canal de foudre, générée par la violente expansion de ce canal sous l'effet des hautes températures atteintes dans son coeur. Cette onde se propage d'abord avec une vitesse supérieure à la vitesse du son dans l'air, puis évolue progressivement en onde acoustique, dont le tonnerre est la manifestation. Au voisinage immédiat de l'arc en retour, la surpression atteint 20 bars, et à 5 mètres, elle est encore de plusieurs bars.

3 - EFFETS DE LA Foudre

Quand on parle des effets de la foudre, on considère le plus généralement les effets néfastes, responsables de dégâts et de dommages divers.

EFFETS THERMIQUES

Les effets thermiques de la foudre sont de plusieurs sortes.

ECHAUFFEMENT DES CONDUCTEURS

Comme tout courant électrique, les courants de foudre chauffent les conducteurs par lesquels ils s'écoulent : c'est l'effet joule bien connu, qui peut conduire jusqu'à la fusion si la section des conducteurs est trop faible. L'échauffement est directement lié à l'énergie spécifique.

FUSION AU POINT D'IMPACT

À l'interface entre une surface métallique et un arc en retour, au point appelé "racine de l'arc", se produit un dégagement de chaleur, capable de fondre quelques millimètres cube de métal. Généralement sans conséquences graves, cette fusion peut néanmoins conduire au percement de tôles minces, entraînant un giclement de métal liquide. La quantité de métal fondu est proportionnelle à la charge électrique écoulée par le coup de foudre.

EFFETS AUX MAUVAIS CONTACTS

Une attention particulière doit être portée à la qualité du serrage des connexions entre conducteurs : un mauvais contact est le siège d'un important échauffement, pouvant conduire à la fusion des pièces en contact. Cette fusion à son tour peut provoquer un arc électrique, la projection de métal à haute température, phénomènes qui sont fréquemment à l'origine d'incendies.

EFFETS SUR LES MAUVAIS CONDUCTEURS

Lorsque le courant de foudre s'écoule dans une faille, dans le bois d'un arbre, dans les interstices entre les pierres d'une construction, il est capable de volatiliser l'humidité présente, générant ainsi de considérables surpressions, la projection de pierres ou de moellons, l'éclatement des arbres. Dans le cas du béton, le passage du courant peut provoquer son éclatement, notamment lorsqu'il cherche à rejoindre les ferrures du béton armé.

MISE A FEU DIRECTE

Lorsqu'un arc de foudre dans l'air traverse des matières inflammables, telles que papier, tissu, paille, foin, voire bois sec, il est capable de déclencher un feu par contact, ou par rayonnement calorifique du canal, dont la température peut atteindre 30 000° C.

EFFETS ELECTRODYNAMIQUES

Des forces électrodynamiques se développent chaque fois que des conducteurs par où s'écoulent des courants se trouvent dans le champ magnétique créé par des courants voisins : ce sont les forces de Laplace. Lorsque des courants de foudre s'écoulent dans deux conducteurs parallèles, la force électrodynamique est une force d'attraction qui s'exerce entre les deux conducteurs. C'est ainsi que des tubes minces ou des gaines de câbles peuvent s'écraser et se retrouver complètement aplatis. Il faut également tenir compte des forces de Laplace dans les installations de paratonnerre, et prévoir les fixations des conducteurs en conséquence.

EFFETS ELECTROCHIMIQUES / CORROSION

Cités pour mémoire. En général, les courants de foudre ne produisent que des décompositions électrochimiques négligeables, comparées aux effets de corrosion des conducteurs enterrés, sous l'action des courants telluriques.

EFFET DE DEFLAGRATION

Lorsqu'un objet forme obstacle au passage de l'onde de choc (voir ce terme), il est soumis à une violente poussée. Des panneaux ou des murs peuvent être renversés par la déflagration; des personnes s'étant trouvées près d'un coup de foudre ont été projetées ou déplacées de plusieurs mètres.

EFFETS ELECTRIQUES ET ELECTROMAGNETIQUES

On entend par "effets électriques" et "effets électromagnétiques" les effets que peut produire la foudre par le seul fait des courants électriques s'écoulant dans le canal de foudre et dans le sol. Ces courants génèrent des surtensions et des élévations (ou montées) de potentiel de la terre.

SURTENSION TEMPORAIRE

Surtension à fréquence industrielle, de durée relativement longue. Une surtension temporaire peut être non amortie ou faiblement amortie. Dans certains cas, sa fréquence peut être inférieure ou supérieure à la fréquence industrielle dans un rapport de plusieurs unités (CEI 71-1)

Commentaire : les causes habituelles des surtensions temporaires sont le défaut à la terre d'une phase (dérive du point neutre), le fonctionnement à vide d'une ligne longue (en très haute tension) le délestage brusque d'une charge, la ferrorésonance.

SURTENSION TRANSITOIRE

Une surtension transitoire est une élévation de tension de courte durée, par rapport à la tension nominale d'un système électrique, ne dépassant pas quelques millisecondes, oscillatoire ou non, généralement fortement amortie.

Les surtensions transitoires sont divisées en :

- surtension à front lent, généralement unidirectionnelle, de durée T_p jusqu'à la valeur de crête comprise entre $20\mu s$ et $5000\mu s$ et de durée de queue T_2 inférieure à 20 ms.
- surtension à front rapide, généralement unidirectionnelle, de durée T_1 jusqu'à la valeur de crête comprise entre $0,1\ \mu s$ et $20\ \mu s$ et de durée de queue T_2 inférieure à 300 μs .
- surtension à front très rapide, généralement unidirectionnelle, de durée jusqu'à la valeur de crête T_f inférieure à $0,1\ \mu s$, de durée totale inférieure à 3 ms, et ayant souvent des oscillations superposées de fréquence comprise entre 30 kHz et 100 MHz. (nouvelles définitions CEI 71-1).

Commentaire : les surtensions de manoeuvre peuvent appartenir à l'une ou l'autre de ces trois catégories, selon le mécanisme qui leur donne naissance. Il en est de même pour les surtensions générées par la foudre, ou surtensions atmosphériques : celles-ci se caractérisent toujours

par des durées très faibles, de l'ordre de la centaine de microsecondes, mais par des amplitudes élevées : du millier à la dizaine de milliers de volts dans les circuits de télécommunications et d'informatique, et dans les installations à basse tension. Il existe plusieurs modes de génération des surtensions.

SURTENSIONS CONDUITES

Ces surtensions sont généralement produites par impact direct de la foudre sur une ligne aérienne d'énergie ou de télécommunication, ou par un impact dans leur voisinage (la surtension est alors induite par couplage électromagnétique entre la ligne et le canal de foudre). De telles surtensions, générées localement sur les conducteurs d'une ligne, vont ensuite se propager le long de ceux-ci jusqu'à leur pénétration dans une structure ou dans un bâtiment, d'où l'expression "surtensions conduites": plus la distance de propagation est faible, plus élevée sera l'amplitude de la surtension au point d'entrée de la ligne dans le bâtiment. Selon les statistiques d'EDF, leurs amplitudes sont en moyenne de 5 à 6 kV et dépassent exceptionnellement 12 kV.

SURTENSIONS INDUITES

Le phénomène responsable de ces surtensions est l'induction électromagnétique. Les courants de foudre d'impacts proches, et plus encore d'impacts directs sur un bâtiment, génèrent à l'intérieur de ce bâtiment un champ magnétique rapidement variable. Toute boucle fermée, et en particulier tout circuit électrique soumis à ce champ sera le siège d'une tension induite. L'amplitude de cette tension est proportionnelle à la vitesse de variation du courant inducteur et à la valeur du coefficient de couplage : c'est la loi d'induction de Faraday, bien connue. Elle montre l'importance du paramètre "raideur" défini plus haut. On peut noter que la durée significative d'une surtension induite ne dépasse pas quelques microsecondes.

SURTENSION HOMOPOLAIRE / DE MODE COMMUN

C'est une surtension qui apparaît entre l'ensemble des conducteurs d'une ligne ou d'un câble (phases et neutre) et la terre ou la masse métallique d'un appareil mis à la terre.

SURTENSION SYMETRIQUE / DE MODE DIFFERENTIEL

C'est une surtension qui apparaît entre les différents conducteurs actifs d'une ligne ou d'un câble (entre phases ou entre phase et neutre). En général, les surtensions symétriques se caractérisent par des amplitudes nettement plus faibles que les surtensions homopolaires.

IMPEDANCE CARACTERISTIQUE / IMPEDANCE D'ONDE

L'impédance caractéristique est le paramètre principal qui définit la propagation d'un signal électrique le long d'une ligne; ce signal est toujours un couple de deux ondes mobiles, l'une de tension $u(t)$, l'autre de courant $i(t)$, rigidement liées entre elles et se propageant à la même vitesse. L'impédance caractéristique Z_c (on dit aussi "impédance d'onde") est alors le rapport constant entre ces deux grandeurs, soit $Z_c = u(t)/i(t)$. Lorsque la ligne est chargée par une impédance égale à Z_c , on dit qu'elle est adaptée.

ELEVATION / MONTEE / EN POTENTIEL DE LA TERRE

Le phénomène responsable d'une élévation de potentiel de la terre est l'écoulement d'un courant électrique dans le sol. Au point d'impact d'un coup de foudre, le courant de foudre s'écoule et diffuse dans le sol, en générant des différences de potentiel entre différents points de celui-ci, du fait de la résistivité qui le caractérise. Si on admet que le sol, à une très grande distance de l'impact, reste au potentiel zéro, tout point situé autour de l'impact est nécessairement porté à un certain potentiel : c'est par définition l'élévation, ou la montée en potentiel de ce point. La montée en potentiel est maximale au point d'impact lui-même. Le "gradient de potentiel", que l'on peut définir comme étant la différence de potentiel entre deux points du sol distants de un mètre, s'exprime quant à lui comme étant le produit de la résistivité locale par la densité de courant locale.

SYSTEME DE PROTECTION CONTRE LA Foudre

Système complet permettant de protéger une structure et des zones ouvertes contre les effets de la foudre. Il comprend une installation extérieure et une installation intérieure de protection contre la foudre.

4 - INSTALLATION EXTÉRIEURE DE PROTECTION CONTRE LA Foudre

Une telle installation a pour fonction de capter les coups de foudre qui, en son absence, auraient frappé le bâtiment ou la structure à protéger, puis à écouler les courants de foudre vers la terre, sans que ceux-ci puissent pénétrer à l'intérieur du volume à protéger. Une installation extérieure de protection contre la foudre comprend un ou plusieurs dispositifs de capture, un ou plusieurs conducteurs de descente, et une ou plusieurs prises de terre.

DISPOSITIF DE CAPTURE

Il a pour fonction de capter un coup de foudre, et constitue, pour un bâtiment ou une structure protégée, le point d'impact préférentiel, en principe obligatoire, lors d'un foudroiement. La norme CEI 1024- 1 le définit comme "la partie de l'installation extérieure destinée à intercepter les éclairs". On distingue plusieurs types de dispositifs de capture.

PARATONNERRE A TIGE SIMPLE

Les paratonnerres à tige simple (appelé parfois tige de Franklin) ont une hauteur pratique de 2 à 6 mètres et présentent une pointe effilée. Elles peuvent être constituées d'un ou plusieurs éléments de même nature, à condition que leur continuité électrique soit assurée (NF C 17-100).

PARATONNERRE A DISPOSITIF D'AMORCAGE (PDA)

Paratonnerre à tige simple, où celle-ci est équipée d'un système électrique ou électronique générant une avance à l'amorçage (avance au démarrage de la prédécharge ascendante), mise en évidence lorsqu'il est comparé dans les mêmes conditions à un paratonnerre à tige simple. La méthode de calcul des rayons de protection d'un PDA est décrite dans la norme NFC 17-102.

AVANCE A L'AMORCAGE (T)

Gain moyen en temps d'amorçage de la prédécharge ascendante, par rapport à celui d'un paratonnerre à tige simple, issu de l'essai d'évaluation. Cette avance s'exprime en microsecondes (NFC 17-102)

PROCESSUS D'AMORCAGE

Phénomène physique compris entre l'apparition des effluves d'effet de couronne et la propagation continue d'une prédécharge ascendante (NF C 17-102).

PARATONNERRE A CAGE MAILLEE

Ensemble de conducteurs entourant une structure ou un bâtiment à protéger, qui se caractérise par la taille des mailles formées par ces conducteurs. Plus le maillage est serré, meilleure sera la protection extérieure. En principe, tout point d'une cage maillée peut être le siège d'un impact direct. Par ailleurs, une installation à cage maillée répartit mieux les courants s'écoulant vers la terre, et diminue de ce fait le couplage électromagnétique avec les équipements intérieurs.

POINTE CAPTRICE

Les pointes captrices, quelquefois improprement appelées pointes de choc, sont des petites tiges simples de 30 à 50 cm de hauteur. Elles sont souvent utilisées avec les cages maillées, et sont destinées à servir de points de captage préférentiels.

PARATONNERRE A FILS TENDUS

Ce système est constitué d'un ou de plusieurs fils conducteurs tendus au-dessus des installations à protéger.

Commentaire : en pratique, les systèmes à paratonnerres à tiges jouent également, plus ou moins, le rôle de cage, en raison de la présence des conducteurs de toiture et de descente : ceux-ci pouvant contribuer à la protection du volume qu'ils englobent. Inversement, lorsqu'un système à cage maillée est équipé de pointes captrices, celles-ci ont un effet attractif sur la foudre légèrement préférentiel.

CONDUCTEURS DE TOITURE

Les conducteurs de toiture sont destinés à écouler les courants de foudre captés par les dispositifs de capture vers les conducteurs de descente. Ils peuvent, le cas échéant, jouer le rôle de capteur.

CONDUCTEURS DE DESCENTE

Partie de l'installation extérieure destinée à conduire les courants de décharges atmosphériques du dispositif de capture à la prise de terre (CEI 1024-1). Les conducteurs de descente peuvent, le cas échéant, jouer le rôle de capteur, et dans le cas d'immeubles de grande hauteur, peuvent prévenir les effets dommageables d'un impact latéral.

CEINTURAGE

Pour améliorer la protection extérieure des immeubles de grande hauteur (supérieure à 28 mètres), et des cheminées, les conducteurs de descentes peuvent être complétés par un ou des conducteurs horizontaux, dits de ceinturage. Il est recommandé de disposer une ceinture tous les 20 mètres.

INSTALLATION EXTERIEURE ISOLEE DU VOLUME A PROTEGER

Installation dont les dispositifs de capture, les conducteurs de toiture et de descente sont placés de manière que le trajet des courants de foudre n'ait aucun contact avec l'espace à protéger.

INSTALLATION EXTERIEURE NON ISOLEE DU VOLUME A PROTEGER

Installation dont les dispositifs de capture, les conducteurs de toiture et de descente sont placés de manière que le trajet des courants de foudre soit en contact avec l'espace à protéger.

COMPOSANTS NATURELS

Composants assurant une fonction de protection contre la foudre mais non installés spécifiquement à cet effet (CEI 1024-1).

Commentaire : ce sont des parties conductrices d'une structure ou d'un bâtiment pouvant participer à la protection extérieure par leur capacité à capter un coup de foudre ou à écouler un courant de foudre. Elles peuvent être utilisées pour remplacer tout ou partie d'une descente ou pour venir en complément d'une installation extérieure. Ces composants peuvent être constitués par :

- l'ossature des constructions métalliques
- les revêtements métalliques de façades ou bardages métalliques
- les tôles métalliques recouvrant le volume à protéger, pourvu qu'elles ne risquent pas d'être perforées par un impact
- les éléments métalliques de construction d'une toiture (fermes, armatures d'acier interconnectées...), même recouverts de matériaux non métalliques, à condition que ces derniers puissent être exclus du volume à protéger.
- les armatures de béton armé, à condition que l'interconnexion électrique soit assurée entre elles et notamment avec les dispositifs de capture et la prise de terre
- les pièces métalliques du type gouttières, décorations, rambardes..., à condition que leur section ne soit pas inférieure à celle spécifiée pour les composants normaux
- les tuyaux et réservoirs métalliques, s'ils sont réalisés en un matériau d'au moins 2,5 mm d'épaisseur et si leur perforation n'entraîne pas de situation dangereuse ou inacceptable.

Note 1 : tous les éléments décrits ci-dessus ne peuvent servir de composants naturels d'une installation extérieure de protection qu'à condition que la continuité électrique soit parfaitement assurée avec les dispositifs de capture d'une part, avec le réseau de terre (voir ce terme) d'autre part.

Note 2 : une légère couche de peinture protectrice ou de 0,5 mm d'asphalte ou de 1 mm de PVC n'est pas considérée comme une isolation.

ELECTRODE DE TERRE

Élément ou ensemble d'éléments conducteurs de la prise de terre assurant un contact électrique direct avec la terre et dissipant le courant de décharge atmosphérique dans cette dernière (CEI 1024-1).

PRISE DE TERRE

Electrode, ou ensemble d'électrodes groupées, en contact intime avec le sol, destinées à établir une liaison électrique avec celui-ci. Elle a d'abord pour but d'assurer la protection des personnes contre les contacts indirects. En ce qui concerne la foudre, une prise de terre a pour fonction d'écouler et de diffuser les courants de foudre dans la terre.

CONDUCTEUR ENTERRE HORIZONTALEMENT

Conducteur enfoui à une profondeur généralement comprise entre 50 et 80 cm au-dessous de la surface du sol. Pour rester efficace vis à vis de l'écoulement des courants de foudre, un conducteur élémentaire ne doit pas excéder une longueur d'une dizaine de mètres (limitation de son impédance longitudinale).

PIQUET DE TERRE

Conducteur enfoncé verticalement (ou avec une légère inclinaison) dans le sol. Pour rester efficace vis à vis de l'écoulement des courants de foudre, la longueur d'un piquet ne doit pas excéder une dizaine de mètres (limitation de l'impédance longitudinale). Si plusieurs piquets sont groupés pour constituer une même prise de terre, la distance entre deux piquets voisins doit être au moins égale à leur profondeur.

PLAQUE ENTERREE

Plaque métallique enfouie de préférence verticalement, à une profondeur généralement comprise entre 50 et 80 cm. Il peut quelquefois s'avérer opportun de l'enfouir horizontalement.

GRILLAGE ENTERRE

Grillage à mailles plus ou moins serrées enfouies horizontalement à une profondeur comprise entre 50 et 80 cm

PRISE DE TERRE EN PATTE D'OIE

Prise de terre constituée de plusieurs conducteurs enterrés horizontalement, disposés radialement à partir du raccordement avec une descente. Ces conducteurs horizontaux peuvent parfois utilement être complétés par des piquets verticaux à leur extrémité.

PRISE DE TERRE EN BOUCLE / CEINTURE DE TERRE

Prise de terre constituée d'une électrode formant une boucle fermée autour de la structure, au-dessous ou sur la surface du sol (CEI 1024-1). En général, cette prise de terre entoure un bâtiment et on l'appelle ceinture de terre.

PRISE DE TERRE EN FOND DE FOUILLE

Electrode de terre noyée dans les fondations en béton d'une structure ou d'un bâtiment (CEI 1024-1).

RESEAU DE MISE A LA TERRE / INSTALLATION DE MISE A LA TERRE

Le réseau de mise à la terre désigne l'ensemble des prises de terre, des conducteurs de terre et des conducteurs de protection du bâtiment.

BORNE PRINCIPALE DE TERRE / BARRE PRINCIPALE DE TERRE

Borne ou barre prévue pour la connexion aux dispositifs de mise à la terre des conducteurs de protection, y compris les conducteurs d'équipotentialité et éventuellement les conducteurs assurant une mise à la terre fonctionnelle. (NF C 15-100).

Commentaire : par ailleurs, l'article 542.4.3 prévoit l'installation sur les conducteurs de terre, en un endroit accessible, d'un dispositif permettant de mesurer la résistance de la prise de terre. Ce dispositif peut être combiné avec la borne principale de terre.

CONDUCTEUR DE TERRE

Conducteur de protection reliant la borne (ou barre principale) à la prise de terre.

RESISTANCE DE PRISE DE TERRE

La résistance d'une prise de terre est égale au quotient entre l'élévation de potentiel (tension mesurée par rapport à une référence suffisamment lointaine pour être au potentiel zéro), et l'intensité du courant qu'on y injecte. En mesure à fréquence industrielle, tension et intensité sont exprimées en valeur efficace. En mesure impulsionnelle, ces grandeurs sont exprimées en valeur de crête.

IMPEDANCE DE PRISE DE TERRE

Une prise de terre est rarement purement ohmique. La présence même des conducteurs enterrés, du conducteur de terre, de l'effet de peau, de la constante diélectrique du sol dans certaines conditions, conduisent à définir une impédance harmonique (en courant sinusoïdal) ou une impédance transitoire (en courant impulsionnel).

FACTEUR DE CHOC

En régime impulsionnel, les valeurs de crête de la tension mesurée et du courant injecté n'apparaissent en général pas simultanément. De plus, leur quotient est une résistance apparente supérieure à la résistance purement ohmique telle qu'elle serait mesurée en courant continu. Le rapport entre cette résistance apparente et la résistance en courant continu est appelé Facteur de Choc. Ce facteur dépend des caractéristiques de la prise de terre, mais aussi de la forme de l'impulsion de courant. Selon la valeur de ces paramètres, le facteur de choc peut être compris entre 1,05 et plusieurs unités.

5 - INSTALLATION INTÉRIEURE DE PROTECTION CONTRE LA Foudre

Installation ayant pour fonction de protéger les équipements électriques, électroniques, de télécommunication, d'informatique, ainsi que les personnes, contre les surtensions conduites et induites, et contre les montées en potentiel des terres. Elle comprend divers dispositifs et aménagements.

EQUIPOTENTIALISATION

Ensemble de dispositions qui ont pour but de rendre équipotentielles toutes les structures métalliques contenues dans le volume à protéger. Sont concernées, les canalisations de fluides (eau froide et eau chaude, écoulement des eaux usées, gaz), les masses des matériels électriques de classe I, des équipements électroniques, l'appareillage sanitaire, les grosses pièces métalliques intérieures (rails de guidage d'ascenseurs, escaliers, poutres...). Sont également concernées les gaines métalliques des câbles et canalisations électriques et de télécommunication.

COUPLAGE RESISTIF / GALVANIQUE

Transfert d'une différence de potentiel entre un circuit parcouru par un courant électrique et un autre circuit voisin par l'intermédiaire d'une résistance commune. Par exemple, dans un câble blindé, l'écoulement d'un courant dans l'écran ou le blindage entraîne, du fait de leur résistance, une différence de potentiel longitudinale qui se transfère au circuit intérieur du câble. Un autre exemple est le couplage résistif entre prises de terre (voir ci-dessous).

COUPLAGE ENTRE PRISES DE TERRE

En l'absence de l'équipotentialisation, une prise de terre passive (sans écoulement intentionnel de courant), subit une montée en potentiel qui est une fraction de la montée en potentiel d'une prise de terre active (qui écoule un courant intentionnellement). Cette fraction définit le "couplage résistant" entre terres. L'équipotentialisation annule les effets de ce couplage.

COUPLAGE INDUCTIF

Apparition d'une force électromotrice (ou tension) dans un circuit lorsqu'il est soumis au champ d'induction magnétique engendré par un courant électrique variable parcourant un autre circuit voisin.

COUPLAGE CAPACITIF

Apparition d'une tension dans un circuit, lorsqu'il est soumis au champ électrique engendré par des charges électriques voisines. Par exemple, tension induite capacitivement dans une antenne

soumise au champ électrique d'un traceur par bonds. On note que des champs de 500 kV/m peuvent être engendrés au voisinage d'un impact.

COMPATIBILITE ELECTROMAGNETIQUE

Aptitude d'un appareil ou d'un système à fonctionner de façon satisfaisante dans son environnement électromagnétique et sans générer lui-même des perturbations électromagnétiques intolérables pour tout ce qui se trouve dans cet environnement. Dans ce contexte, la foudre apparaît comme un acteur perturbateur important.

LIAISON EQUIPOTENTIELLE

Liaison électrique mettant au même potentiel, ou à des potentiels voisins, les diverses structures métalliques à l'intérieur du volume à protéger.

CONDUCTEUR DE PROTECTION

Conducteur prescrit dans certaines mesures de protection contre les chocs électriques et destiné à relier électriquement certaines des parties suivantes : masses des équipements électriques et électrodomestiques, conduites de fluides (eau, gaz, eaux usées...), éléments conducteurs (poutres métalliques, rails d'ascenseurs, ferrures importantes du bâtiment), borne principale de terre, prise de terre. Les conducteurs de protection sont repérés par la double coloration vert jaune.

CONDUCTEUR D'EQUIPOTENTIALITE

Conducteur assurant une liaison équipotentielle. Les conducteurs d'équipotentialité constituant le réseau de masse et qui n'ont qu'un rôle fonctionnel ne doivent pas être repérés par la double coloration vert-jaune.

LIAISON EQUIPOTENTIELLE DES SYSTEMES INFORMATIQUES

Il existe deux principales méthodes pour relier les éléments métalliques des systèmes informatiques, tels qu'armoires, boîtiers ou tiroirs, à la terre commune de la structure. L'une des deux configurations de base suivantes doit être utilisée :

- configuration en étoile (type S)
- configuration maillée (type M)

BORNE PRINCIPALE D'EQUIPOTENTIALITE

Collecteur recueillant les liaisons équipotentielles venant de toutes les structures métalliques intérieures, y compris les écrans et blindages des câbles, ainsi que les conducteurs vert-jaune de sécurité. Cette barre est généralement placée près du tableau d'entrée de l'alimentation électrique. Dans un grand immeuble, plusieurs barres sont installées. Chaque barre est connectée au réseau de terre en un seul point, par une liaison équipotentielle principale qui aboutit à la borne principale de terre.

RESEAU DE MASSES / RESEAU EQUIPOTENTIEL

Ensemble constitué par les liaisons équipotentielles, c'est-à-dire les conducteurs d'équipotentialité, les conducteurs de protection reliant les parties métalliques des équipements aux bornes de terre ainsi que ceux reliant ces bornes entre elles, et les conducteurs assurant une mise à la terre fonctionnelle.

ETINCELLE DANGEREUSE

Arc électrique provoqué par une différence de potentiel entre deux conducteurs voisins. Un tel arc peut le cas échéant provoquer la perforation diélectrique de parois ou murs isolants. En effet, malgré l'équipotentialisation, des différences de potentiel, souvent générées par induction, peuvent apparaître, par exemple entre une descente appartenant à l'installation extérieure de protection et une canalisation intérieure.

DISTANCE DE SECURITE

Distance minimale requise pour qu'aucune étincelle dangereuse ne puisse se produire.

LIMITEUR DE SURTENSION TEMPORAIRE

Appareil conçu pour parer, dans des conditions spécifiées, à une élévation dangereuse de potentiel des conducteurs actifs d'une installation par rapport à la terre. Il est destiné à limiter les surtensions temporaires à fréquence industrielle.

PARAFOUDRE

Dispositif destiné à limiter les surtensions transitoires et à dériver les ondes de courant. Il contient au moins un composant non linéaire (NF C 61-740).

Commentaire : le terme "parafoudre" est maintenant employé comme terme générique et s'applique à tout dispositif ayant pour fonction de limiter l'amplitude d'une surtension transitoire à une valeur non dangereuse pour l'installation et l'appareillage électrique. Les parafoudres sont connectés entre chaque conducteur actif d'une alimentation électrique ou d'une ligne de télécommunication et la masse (protection de mode commun) et éventuellement entre conducteurs actifs (protection de mode différentiel). Il existe plusieurs types de parafoudres, basés sur des principes différents.

PARASURTENSEUR, ECRETEUR

Terminologies non normalisées, équivalentes à "parafoudre", que l'on rencontre parfois dans la littérature technique. Ces termes sont donc à éviter.

ECLATEUR

Dispositif constitué de deux électrodes placées face à face, avec un écartement convenable, et entre lesquelles se produit un amorçage (éventuellement suivi d'un courant de suite), dès qu'une surtension atteint une certaine valeur. La tension d'amorçage dépend de l'écartement entre les électrodes, et est généralement supérieure au millier de volts. Sur les réseaux d'énergie à Moyenne et Haute Tension, l'éclateur est une technologie de protection en voie de disparition et est remplacé par un parafoudre.

ECLATEUR A GAZ

Eclateur enfermé dans une enveloppe isolante (souvent de verre ou d'alumine) étanche, remplie d'un mélange de gaz rare sous une pression contrôlée. Les éclateurs à gaz sont de type bipolaire (2 électrodes latérales) ou tripolaire (électrode centrale supplémentaire). Ils sont principalement utilisés pour la protection des réseaux et des équipements de télécommunication, et entrent aussi dans la constitution de parafoudres. Leur tension d'amorçage est de quelques centaines de volts à un kilovolt en régime impulsionnel (front de 1 kV/ μ s). Ces composants sont parfois improprement appelés parasurtensions.

PARAFOUDRE MT / HT

Appareil destiné à protéger le matériel électrique en moyenne tension et en basse tension contre les surtensions transitoires élevées et à dériver les ondes de courant associées. Il limite également la durée, et souvent l'amplitude, du courant de suite. Est considéré comme faisant partie du parafoudre tout éclateur extérieur en série nécessaire au bon fonctionnement de l'appareil lorsqu'il est en service, que la fourniture comprenne ou non cet éclateur (CEI 99-1).

Commentaire : le composant principal d'un parafoudre moderne est constitué d'une varistance, ou de plusieurs varistances empilées, d'oxyde de zinc (ZnO). La résistance électrique de l'oxyde de zinc possède la propriété remarquable d'être très fortement non linéaire : à la tension de fonctionnement permanente, cette résistance est très élevée, et le courant permanent qui traverse le parafoudre est négligeable; mais dès qu'une surtension se présente à ses bornes, la valeur de la résistance s'effondre, d'où résulte un effet d'écrêtement. La résistance reste néanmoins suffisante pour ne pas conduire à un court-circuit. Le parafoudre à oxyde métallique sans éclateur ne comporte que des résistances variables à oxyde métallique connectées en série et/ou en parallèle, et ne comporte pas d'éclateurs en série ou en parallèle. Un parafoudre se caractérise par plusieurs paramètres.

TENSION MAXIMALE DE REGIME PERMANENT (Uc)

Valeur spécifiée admissible maximale de la tension efficace à fréquence industrielle qui peut être appliquée de façon continue entre les bornes du parafoudre sans affecter son fonctionnement (NF C 61-740).

Commentaire : la même définition est valable lorsqu'une tension continue permanente est appliquée à un parafoudre. La tension spécifiée admissible est égale à la tension assignée en BT.

COURANT NOMINAL DE DECHARGE (In)

Valeur de crête du courant de décharge de forme d'onde $T1/T2 = 8/20 \mu s$ utilisé pour désigner un parafoudre. C'est le courant de décharge utilisé pour les essais de fonctionnement (NF C 61-740).

Commentaire : le courant nominal de décharge est choisi en fonction de l'exposition du lieu et d'un compromis risque/coût de la protection. Il faut prévoir au moins 5 kA lorsque la protection est placée en tête de l'installation.

COURANT MAXIMAL DE DECHARGE (Imax)

Valeur maximale de crête, définie par le constructeur, d'un courant de décharge de forme d'onde $T1/T2 = 8/20 \mu s$ supporté une seule fois par le parafoudre (NF C 61-740).

Commentaire : le courant maximal de décharge n'est en général pas choisi et est lié au courant nominal de décharge par un facteur de l'ordre de 2 à 3.

NIVEAU DE PROTECTION (Up)

Tension qui caractérise les performances de protection d'un parafoudre et qui est choisie parmi les valeurs normales des niveaux de protection (NF C 61 740).

Commentaire : le niveau de protection dépend du type d'équipement à protéger. Les niveaux de protection usuels sont : 2,5 kV, 2 kV, 1,8 kV, 1,5 kV, 1,2 kV, 1 kV.

TENSION RESIDUELLE

Tension apparaissant aux bornes d'un parafoudre lors du passage du courant nominal de décharge (In) et correspondant donc approximativement à la tension appliquée aux équipements à protéger.

COURANT DE FONCTIONNEMENT PERMANENT

Improprement appelé courant de fuite, c'est le courant s'écoulant dans le parafoudre lorsqu'il est soumis à la tension maximale de régime permanent, en l'absence de défaut (NF C 61-740).

COURANT DE SUITE

Courant débité par le réseau et écoulé par le parafoudre après le passage du courant de décharge, lorsque le courant qui passe dans le parafoudre après le courant de décharge est significativement différent du courant de fonctionnement permanent (NF C 61-740).

Commentaire : ce phénomène n'existe que pour les technologies à base d'éclateurs ou de composants équivalents.

VARISTANCE

On désigne par varistance un composant à base d'oxyde de zinc (ZnO) ou de carbure de silicium (SiC), permettant grâce à sa caractéristique courant/tension de limiter la tension à ses bornes (écrêtage). La varistance ZnO est le composant de base généralement utilisé pour les parafoudres de réseaux d'alimentation (BT, MT).

DIODE D'ECRETAGE

Diode de type Zener (limitation de tension) dotée d'une structure particulière pour optimiser son comportement en écrêtage sur des surtensions transitoires et caractérisée par un temps de réponse rapide.

DISPOSITIF A THYRISTORS

Composant de protection semi-conducteur basé sur l'effet thyristor, il présente une caractéristique courant/tension très proche de l'éclateur à gaz, et permet d'atteindre des courants de décharge plus élevés que les diodes d'écrêtage. Il est parfois appelé improprement, parasurtension solide.

ECLATEUR COAXIAL

Eclateur basse capacité incorporé dans une mécanique coaxiale, adapté à des impédances spécifiques (50 ou 75 ohms). Gamme de fréquence de 0 à 2 GHz.

PROTECTION COAXIALE A BASE DE FILTRAGE

Filtre sélectif en fréquence (passe bas, passe bande, passe haut), utilisant des composants discrets, tels qu'inductances, condensateurs... Gamme de fréquence de 50 MHz à 500 MHz.

PROTECTION COAXIALE A CAVITE

Filtre sélectif en fréquence qui utilise une technologie de lignes incorporées dans des cavités et accordées en fonction des gammes de fréquences choisies. Gamme de fréquence de 50 MHz à 500 MHz.

PROTECTION COAXIALE A TECHNOLOGIE STRIP LINE

Filtre sélectif en fréquence qui utilise une technologie de métallisation déposée sur un substrat, réalisant ainsi les éléments de filtrage (condensateurs, inductances...) pour des fréquences élevées. Gamme de fréquence de 500 MHz à 15 GHz.

PROTECTION COAXIALE QUART D'ONDE

Filtre sélectif passe haut exclusivement, dont une ou plusieurs branches connectées sur l'âme du coaxial sont en court-circuit par rapport à la masse pour une longueur électrique équivalente au quart de la longueur d'onde considérée et correspondant à la fréquence de transmission. Gamme de fréquence de 30 MHz à 15 GHz.

TEMPS DE REPONSE

Temps mis par un appareil de protection pour entrer en fonctionnement. Ce temps dépend de la raideur du front de la surtension appliquée.

DECONNECTEUR / DISPOSITIF DE DECONNEXION

Dispositif, incorporé ou associé, permettant la déconnexion d'un parafoudre du réseau en cas de défaillance du parafoudre.

COORDINATION D'UNE PROTECTION / MISE EN CASCADE DE PARAFONDRES

Il peut arriver entre autres, lorsqu'un niveau de protection bas est nécessaire, conjugué avec un courant de décharge important, que l'on ne puisse pas trouver de solution avec l'installation d'un seul parafoudre. Dans ce cas il est nécessaire de mettre en place plusieurs dispositifs de protection en cascade : c'est la coordination d'une protection. Elle requiert une étude soignée, car le dispositif à niveau de protection faible peut être détruit avant que le parafoudre de tête ne puisse agir. L'insertion d'un élément de découplage (par exemple une longueur de ligne ou une bobine d'inductance) peut alors être nécessaire.

6 - ANALYSE DU RISQUE

RISQUE DE DOMMAGES MATERIELS

Le risque est la probabilité annuelle de dommages (ou du coût des dommages) causés par le foudroiement direct ou indirect d'une structure ou d'un bâtiment. L'analyse du risque et de sa réduction doit se faire en plusieurs étapes :

- a) évaluation de la probabilité annuelle de foudroiement direct : nombre probable d'impacts directs
- b) évaluation de la probabilité annuelle de foudroiement indirect : nombre probable de surtensions conduites dangereuses
- c) niveau de protection à donner à une installation extérieure de protection contre la foudre
- d) degré d'élaboration de l'installation intérieure de protection contre la foudre

CLASSIFICATION DES STRUCTURES

Les structures et bâtiments sont classifiés selon l'importance et le type de dommages que peut provoquer le foudroiement. On peut distinguer :

- les dommages corporels ou pertes de vies humaines
- les risques de panique dans des bâtiments accueillant du public
- les pertes inacceptables de services public
- les risques d'incendie ou d'explosion dans des installations contenant des matières inflammables ou explosives
- les pertes d'éléments irremplaçables du patrimoine culturel
- les pertes mineures, n'impliquant aucun élément humain, culturel ou social.

NIVEAU DE PROTECTION

Classification d'une installation extérieure de protection contre la foudre exprimant son degré de performance. La normalisation internationale (CEI 81) propose quatre niveaux de protection. A ne pas confondre avec le niveau de protection d'un dispositif de protection contre les surtensions.

PROBABILITE ANNUELLE DE FOUROIEMENT DIRECT

Nombre moyen annuel d'impacts directs sur une structure ou un bâtiment. Cette probabilité est une fonction de la densité locale de coups de foudre, de la surface de capture équivalente de la structure ou du bâtiment, de la plus ou moins grande protection naturelle par l'environnement.

SURFACE EQUIVALENTE DE FOUROIEMENT

Cette surface est, par définition, la surface de sol plat qui recevrait le même nombre d'impacts que la structure ou le bâtiment en question. Cette surface est toujours plus grande que la seule emprise au sol de l'ensemble à protéger. On la détermine en pratique en entourant fictivement le périmètre de cet ensemble par une bande horizontale, dont la largeur est égale à trois fois sa hauteur. Elle peut ensuite être corrigée en tenant compte des objets environnants : arbres, autres structures, susceptibles de dévier un coup de foudre vers eux.

EVALUATION DE LA PROBABILITE ANNUELLE DE FOUROIEMENT

Cette probabilité est égale à la surface de capture équivalente multipliée par la densité locale de coups de foudre.

PROBABILITE ANNUELLE DE SURTENSIONS CONDUITES DANGEREUSES

Cette probabilité est égale à la probabilité d'impacts directs sur une ligne aérienne, augmentée de la probabilité de génération de surtensions dangereuses par coups proches de la ligne, mais non directs. Pour évaluer cette probabilité, on se base sur une longueur de ligne de 10 km à partir de son point d'entrée dans le bâtiment. On propose aussi, pour évaluer la surface équivalente totale des services entrants, l'expression $1 \text{ km}^2 \times n$, où n est le nombre de lignes aériennes entrant dans la structure.

PROBABILITE DE DEGRADATION PAR COUP DE FOUORE DIRECT

Nombre moyen annuel de coups de foudre directs qui engendrent des dégradations dans une structure. Cette probabilité peut être inférieure à la probabilité de foudroiement.

PROBABILITE ACCEPTEE DE DEGRADATION PAR COUP DE FOUORE DIRECT

Nombre maximal annuel accepté de coups de foudre directs qui peuvent causer des dégradations dans une structure. Selon les cas, cette probabilité est inférieure, égale ou supérieure aux probabilités précédentes. Si elle est supérieure, aucune protection n'est nécessaire.

EFFICACITE D'UNE INSTALLATION EXTERIEURE DE PROTECTION

Rapport entre le nombre moyen de coups de foudre directs qui ne causent pas de dégradations dans la structure et le nombre annuel d'impacts directs.

MODELE ELECTROGEOMETRIQUE

Modèle physico-mathématique permettant de déterminer le volume protégé par une installation extérieure de protection, de positionner les paratonnerres à tige et de fixer la largeur des mailles d'une cage par une méthode rationnelle. Ce modèle se base sur les propriétés de la distance d'amorçage (voir ce terme). En particulier la distance d'amorçage est une fonction de la valeur de crête du "premier coup" d'un coup de foudre.

METHODE DE LA SPHERE FICTIVE

Méthode pratique, à l'aide d'une sphère fictive, de positionnement optimal des paratonnerres à tige et de détermination de la largeur des mailles d'une cage d'une installation extérieure de protection. Le rayon de la sphère fictive utilisée pour la construction géométrique de la protection dépend du niveau de protection retenu; il coïncide avec une certaine distance d'amorçage. Autrement dit, comme à une distance d'amorçage donnée est associée une amplitude du courant de foudre, le niveau de protection détermine l'amplitude du courant au-dessus de laquelle la protection est théoriquement assurée. Dans la méthode de la sphère fictive, le volume protégé par un paratonnerre à tige est limité par un arc de cercle passant par la pointe et tournant autour de la tige.

ANGLE DE PROTECTION

Par le passé, on a longtemps admis que le volume protégé par un paratonnerre à tige était défini par un cône de base circulaire, dont le sommet coïncide avec la pointe de la tige; mais il existait une grande divergence quant à la valeur du demi angle de ce cône, qui variait entre 30° et 60°, selon les auteurs. Afin de conserver les anciennes habitudes, les normes modernes ont maintenu cette notion de cône, mais en donnant une équivalence de volume protégé entre l'angle du cône et le rayon de la sphère fictive. L'angle de protection choisi est maintenant étayé par une certaine logique.

RAYON DE PROTECTION

Distance horizontale entre l'axe d'un paratonnerre à tige et le point de contact de la sphère fictive avec le plan à protéger, ou rayon du cercle du cône de protection à l'intersection avec le plan à protéger.

IMPULSION ELECTROMAGNETIQUE DE Foudre

Composante impulsionnelle du champ rayonné, ou du champ d'induction magnétique, responsable de la formation des surtensions induites.

ZONE D'ENVIRONNEMENT

Zone où des conditions électromagnétiques sont définies.

ZONES DE PROTECTION CONTRE LA Foudre

Zones dans lesquelles l'environnement électromagnétique dû à la foudre doit être défini et réglementé. Le volume à protéger vis-à-vis des impulsions électromagnétiques doit être divisé en zones afin de définir des volumes de différentes sévérités, et de désigner des emplacements pour les points de connexions au niveau des limites de zones.

A	
ANGLE DE PROTECTION.....	28
ARC EN RETOUR	8
AVANCE A L'AMORCAGE (T)	17
B	
BORNE PRINCIPALE D'EQUIPOTENTIALITE.....	22
BORNE PRINCIPALE DE TERRE / BARRE PRINCIPALE DE TERRE	20
C	
CANAL IONISE / CANAL DE Foudre	7
CEINTURAGE	18
CHAMP ELECTRIQUE AU SOL.....	7
CHARGE IMPULSIONNELLE.....	12
CHARGE TOTALE	12
CLASSIFICATION DES STRUCTURES	27
COMPATIBILITE ELECTROMAGNETIQUE	21
COMPOSANTS NATURELS.....	18
CONDUCTEUR D'EQUIPOTENTIALITE.....	22
CONDUCTEUR DE PROTECTION	22
CONDUCTEUR DE TERRE.....	20
CONDUCTEUR ENTERRE HORIZONTALEMENT	19
CONDUCTEURS DE DESCENTE	18
CONDUCTEURS DE TOITURE	18
COORDINATION D'UNE PROTECTION / MISE EN CASCADE DE PARAFoudRES ...	26
COUP DE Foudre.....	8
COUPLAGE CAPACITIF.....	21
COUPLAGE ENTRE PRISES DE TERRE.....	21
COUPLAGE INDUCTIF.....	21
COUPLAGE RESISTIF / GALVANIQUE.....	21
COURANT DE FONCTIONNEMENT PERMANENT	24
COURANT DE SUITE	24
COURANT MAXIMAL DE DECHARGE (Imax).....	24
COURANT NOMINAL DE DECHARGE (In).....	24
COURANT PERSISTANT	9
D	
DECHARGE ATMOSPHERIQUE.....	7
DECHARGE DE CAPTURE	10
30	
Glossaire DERN CORRECT 19.06 2/04/02 10:54 Page 30	
DECONNECTEUR / DISPOSITIF DE DECONNEXION	26
DENSITE DE FoudROIEMENT	10
DIODE D'ECRETAGE.....	25
DISPOSITIF DE CAPTURE.....	17
DISPOSITIF A THYRISTORS	25
DISTANCE D'AMORCAGE	10
DISTANCE DE SECURITE	22
DUREE CONVENTIONNELLE DE FRONT	11
DUREE D'UN ECLAIR	12
E	
ECHAUFFEMENT DES CONDUCTEURS.....	13
ECLAIR.....	7
ECLAIR INTER - NUAGE / INTRA - NUAGE	7
ECLATEUR.....	23
ECLATEUR A GAZ	23

ECLATEUR COAXIAL	25
EFFET DE COURONNE	9
EFFET DE DEFLAGRATION.....	14
EFFET INDIRECT.....	9
EFFETS AUX MAUVAIS CONTACTS.....	13
EFFETS ELECTRIQUES ET ELECTROMAGNETIQUES	14
EFFETS ELECTROCHIMIQUES / CORROSION	14
EFFETS ELECTRODYNAMIQUES	13
EFFETS SUR LES MAUVAIS CONDUCTEURS	13
EFFETS THERMIQUES.....	13
EFFICACITE D'UNE INSTALLATION EXTERIEURE DE PROTECTION	28
ELECTRODE DE TERRE	19
ELEVATION / MONTEE / EN POTENTIEL DE LA TERRE.....	15
ENERGIE SPECIFIQUE.....	12
EQUIPOTENTIALISATION.....	21
ETINCELLE DANGEREUSE	22
EVALUATION DE LA PROBABILITE ANNUELLE DE FOUDDROIEMENT.....	27
F	
FACTEUR DE CHOC	20
FEU DE ST ELME.....	9
FORME DU COURANT D'ARC EN RETOUR.....	11
FOUDRE ASCENDANTE / ECLAIR ASCENDANT.....	8
31	
Glossaire DERN CORRECT 19.06 2/04/02 10:54 Page 31	
FOUDRE NEGATIVE DESCENDANTE / ECLAIR NEGATIF DESCENDANT.....	8
FOUDRE OU ECLAIR A LA TERRE	7
FOUDRE POSITIVE	8
FOUDROIEMENT	9
FUSION AU POINT D'IMPACT	13
G	
GRILLAGE ENTERRE.....	19
I	
IMPACT DIRECT	9
IMPACT LATERAL.....	9
IMPEDANCE CARACTERISTIQUE / IMPEDANCE D'ONDE	15
IMPEDANCE DE PRISE DE TERRE.....	20
IMPULSION ELECTROMAGNETIQUE DE FOUDDRE.....	29
INSTALLATION EXTERIEURE ISOLEE DU VOLUME A PROTEGER	18
INSTALLATION EXTERIEURE NON ISOLEE DU VOLUME A PROTEGER.....	18
ION, IONISATION.....	8
K	
KERAUNIQUE	9
L	
LIAISON EQUIPOTENTIELLE	22
LIAISON EQUIPOTENTIELLE DES SYSTEMES INFORMATIQUES.....	22
LIMITEUR DE SURTENSION TEMPORAIRE	23
M	
METHODE DE LA SPHERE FICTIVE.....	28
MISE A FEU DIRECTE	13
MODELE ELECTROGEOMETRIQUE	28
N	
NIVEAU DE PROTECTION.....	27
NIVEAU DE PROTECTION (Up)	24
NIVEAU KERAUNIQUE	9
NOMBRE D'ARCS EN RETOUR	12

NUAGE ORAGEUX	7
---------------------	---

32

Glossaire DERN CORRECT 19.06 2/04/02 10:54 Page 32

O

ONDE DE CHOC ACOUSTIQUE, TONNERRE.....	12
--	----

ORAGE	7
-------------	---

P

PARAFOUDRE	23
------------------	----

PARAFOUDRE MT / HT	23
--------------------------	----

PARAMETRES DES ARCS EN RETOUR	11
-------------------------------------	----

PARASURTENSEUR, ECRETEUR	23
--------------------------------	----

PARATONNERRE A CAGE MAILLEE.....	17
----------------------------------	----

PARATONNERRE A DISPOSITIF D'AMORCAGE (PDA)	17
--	----

PARATONNERRE A FILS TENDUS.....	18
---------------------------------	----

PARATONNERRE A TIGE SIMPLE	17
----------------------------------	----

PIQUET DE TERRE	19
-----------------------	----

PLAQUE ENTERREE.....	19
----------------------	----

POINT D'IMPACT.....	9
---------------------	---

POINTE CAPTRICE	17
-----------------------	----

PREDECHARGE ASCENDANTE / TRACEUR ASCENDANT	8
--	---

PRISE DE TERRE	19
----------------------	----

PRISE DE TERRE EN BOUCLE / CEINTURE DE TERRE	20
--	----

PRISE DE TERRE EN FOND DE FOUILLE	20
---	----

PRISE DE TERRE EN PATTE D'OIE.....	19
------------------------------------	----

PROBABILITE ACCEPTEE DE DEGRADATION PAR COUP DE Foudre DIRECT	28
---	----

PROBABILITE ANNUELLE DE Foudroiement DIRECT	27
---	----

PROBABILITE ANNUELLE DE SURTENSIONS CONDUITES DANGEREUSES	28
---	----

PROBABILITE DE DEGRADATION PAR COUP DE Foudre DIRECT.....	28
---	----

PROCESSUS D'AMORCAGE.....	17
---------------------------	----

PROTECTION COAXIALE A BASE DE FILTRAGE	25
--	----

PROTECTION COAXIALE A CAVITE.....	25
-----------------------------------	----

PROTECTION COAXIALE A TECHNOLOGIE STRIP LINE.....	25
---	----

PROTECTION COAXIALE QUART D'ONDE.....	25
---------------------------------------	----

R

RAIDEUR DE L'IMPULSION.....	11
-----------------------------	----

RAYON DE PROTECTION	29
---------------------------	----

RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUE	10
-------------------------------------	----

RESEAU DE MASSES / RESEAU EQUIPOTENTIEL	22
---	----

RESEAU DE MISE A LA TERRE / INSTALLATION DE MISE A LA TERRE	20
---	----

RESISTANCE DE PRISE DE TERRE.....	20
-----------------------------------	----

RISQUE DE DOMMAGES MATERIELS	27
------------------------------------	----

33

Glossaire DERN CORRECT 19.06 2/04/02 10:54 Page 33

S

SEVERITE ORAGEUSE	9
-------------------------	---

SURFACE EQUIVALENTE DE Foudroiement	27
---	----

SURTENSION HOMOPOLAIRE / DE MODE COMMUN.....	15
--	----

SURTENSION SYMETRIQUE / DE MODE DIFFERENTIEL	15
--	----

SURTENSION TEMPORAIRE.....	14
----------------------------	----

SURTENSION TRANSITOIRE.....	14
-----------------------------	----

SURTENSIONS CONDUITES.....	15
----------------------------	----

SURTENSIONS INDUITES	15
----------------------------	----

SYSTEME DE PROTECTION CONTRE LA Foudre	16
--	----

T

TEMPS DE DECROISSANCE.....	11
----------------------------	----

TEMPS DE MONTEE.....	11
TEMPS DE REPONSE	25
TENSION MAXIMALE DE REGIME PERMANENT (Uc).....	24
TENSION RESIDUELLE	24
TRACEUR DESCENDANT / TRACEUR PAR BONDS / PRECURSEUR PAR BONDS....	8
V	
VALEUR DE CRETE DU COURANT.....	11
VARISTANCE.....	25
Z	
ZONE D'ENVIRONNEMENT	29
ZONES DE PROTECTION CONTRE LA Foudre	29

GLOSSAIRE DE KERAUNOPATHOLOGIE
TERMES MÉDICAUX RELATIFS AUX EFFETS
DE LA Foudre SUR LES ETRES VIVANTS,
L'ETRE HUMAIN EN PARTICULIER

PHYSIOPATHOLOGIE DU Foudroiement

EPIDÉMIOLOGIE ET CLINIQUE
DES Foudroiements

TRAITEMENTS D'URGENCE

PROTECTION DES PERSONNES

PRÉVENTION DES Foudroiements DE PERSONNES

1- PHYSIOPATHOLOGIE DU FOUROIEMENT

ARC DE CONTOURNEMENT

Arc électrique se développant à l'extérieur d'un corps foudroyé lorsque la différence de potentiel entre les points d'entrée et de sortie du courant de foudre traversant le corps devient supérieure à la tenue diélectrique superficielle. Les conditions précitées sont en général remplies si bien que que le courant traversant le corps d'un homme debout, foudroyé directement, ne dépasse pas 10 ampères (A) pendant quelques millisecondes (ms), après une pointe d'un millier d'ampères pendant quelques microsecondes (ms). On explique ainsi que 2 victimes d'un foudroiement direct sur 3 puissent survivre. Il est à noter que l'arc de contournement dépend uniquement des paramètres physiques (U, R, et I) et peut donc se produire quel que soit le mécanisme du foudroiement.

BLAST EFFET DE BLAST ou EFFET DE SOUFFLE LESIONS PAR EFFET DE BLAST

Les lésions par effet de blast sont dues à la propagation et au passage dans le corps humain de l'onde de choc provoquée par une explosion ou par la proximité d'un arc de foudre. On distingue dans le cas d'un foudroiement :

Le blast pur - lésions internes **baro-traumatiques** en général sans effraction cutanée : lésions pulmonaires, crânio-faciales (encéphaliques, oculaires, tympaniques, pharyngo-laryngées) ou abdominales.

Exemples classiques : le poumon de blast avec œdème aigu du poumon, hémorragies intra-oculaires, décollement de rétine, rupture du tympan, hypoacousie, acouphènes, hémorragies intra-abdominales.

Les lésions traumatiques associées –Ce sont les traumatismes par projection de la victime contre un obstacle (sol y compris) avec écrasement ou ensevelissement, dans les catastrophes où la foudre est associée par exemple à une tornade. Si la victime est projetée à l'eau : considérer la submersion comme une forme de traumatisme. Autres traumatismes associés : ceux qui affectent les vêtements, coiffures et chaussures de la victime, éjectés, déchiquetés, avec morceaux projetés à distance, et ayant pour mécanisme la surpression brutale de l'air s'engouffrant entre la peau et les vêtements.

Les lésions associées non traumatiques

- brûlures thermiques le plus souvent par les radiations de l'arc de foudre, plus rarement par incendie secondaire ou inflammation des vêtements, et exceptionnellement par inhalation de fumées d'incendie.

CENTRES RESPIRATOIRES

La fonction respiratoire est soumise à un contrôle permanent automatique par le système nerveux **central** (d'où le mot « centre » utilisé ici). Les structures anatomiques qui assurent ce contrôle sont localisées dans les deux parties inférieures du tronc cérébral, appelées protubérance annulaire et bulbe rachidien, entre le cerveau et la moelle épinière. En cas de passage du courant de foudre à travers la tête, les centres respiratoires peuvent être inhibés ; l'**arrêt respiratoire central** qui s'ensuit est un des mécanismes d'électrocution.

COUP DE Foudre

Cette expression signifie soit le phénomène physique, coup de foudre au sens de décharge électrique, soit un accident dû à la foudre ayant entraîné blessures ou mort de personnes ou animaux. Nous recommandons pour éviter toute ambiguïté, de réserver « coup de foudre » au phénomène physique et d'adopter « foudroiement » pour l'accident.

EFFETS DE LA Foudre SUR LES PERSONNES

Ils ne diffèrent pas théoriquement des effets sur les structures et les lignes électriques - Les effets sont à adapter à l'homme (ou animal) qui est un assez bon conducteur. On assimile le corps humain à un volume homogène, de résistance de 100 à 500 ohms au maximum : le corps humain adulte est composé principalement d'eau, 60%) et les résistances de la peau sont négligeables en haute tension. Le comportement électrique du corps vis-à-vis du courant de foudre a été comparé à celui du tronc d'un arbre, riche en sève.

Les effets sur les personnes sont soit directs soit associés

Effets électriques (effets **directs**) : électrisation à l'exclusion des effets thermiques électriques. Exemples d'effets électriques non thermiques : douleur parfois persistante dans un membre traversé par le courant de foudre, trouble du rythme cardiaque consécutif au passage de courant de foudre à travers le cœur.

Effets électrothermiques (effets **directs**): effets thermiques dus au courant de foudre traversant le corps et à l'arc de contournement externe. Exemples : brûlures électriques typiques aux points d'entrée et de sortie du courant, très exceptionnellement brûlures profondes sur le trajet du courant entre les points d'entrée et de sortie, lésions thermiques par arc intéressant la surface du corps (peau et vêtements/chaussures/objets en contact avec celle-ci), lésions oculaires par radiations du flash. Certaines lésions oculaires (rétiniennes, cornéennes...) sont dues semble-t-il uniquement à l'effet électrothermique du courant passant à travers l'œil - l'œil étant un orifice naturel, l'entrée d'une quantité importante de courant par cette voie est facilitée.

Effets explosifs - Blast

Ces effets sont considérés directs puisque la caractéristique de l'arc en retour est de créer une onde de choc, du fait de la surpression considérable dans l'air entourant le canal de foudre (voir le terme «blast»).

Effets acoustiques et lumineux

(effets associés)

Effets traumatiques (effets associés) :

les traumatismes sont dus soit à une projection (blast) suivie de chute, soit à une chute (parfois d'un lieu élevé) suite à une perte initiale de connaissance due à l'électrisation. Seules certaines chutes traumatiques, conséquences d'une perte d'équilibre par fuite dans la précipitation et l'affolement, par exemple lors de foudroiements **collectifs**, peuvent être considérés comme des effets indirects.

ELECTRISATION

Passage de courant électrique à travers le corps ainsi que les conséquences de ce passage, quel que soit le type de courant en cause. Les électrisations par courant de foudre sont des foudroiements. Une électrisation immédiatement mortelle est une électrocution.

ELECTROCUTION

Terme régulièrement confondu avec électrisation; or, il signifie strictement électrisation mortelle. Parmi ses causes : la fibrillation ventriculaire - la plus fréquente -, l'asystole et l'inhibition des centres respiratoires. Par extension, et selon certains auteurs, une électrocution peut être une électrisation dont l'issue n'a été fatale qu'après quelques jours, à condition que la cause directe du décès soit le passage du courant à travers le corps.

ELECTROPATHOLOGIE

Introduit en France au début du 20^{ème} siècle, ce terme générique inclut toutes les conséquences des électrisations accidentelles (professionnelles, domestiques, du domaine des loisirs) et, par extension, l'étude des électrisations intentionnelles à des fins en particulier thérapeutiques et

diagnostiques. Les électrisations par courant de foudre appartiennent au domaine de l'électropathologie. Récemment nous avons introduit un terme spécifique, kéraunopathologie branche de l'électropathologie, pour tout ce qui se rapporte à la pathologie due à la foudre.

ELECTROPORATION

Ce phénomène, bien démontré dans le cas des électrisations par courant de fréquence industrielle, est aussi applicable aux foudroiements. L'électroporation est une rupture diélectrique de la membrane cellulaire partielle (pores) ou totale (destruction), résultant de l'application d'un champ électrique trop intense faisant augmenter brutalement le potentiel trans-membranaire physiologique. Les cellules musculaires squelettiques et neurologiques périphériques sont particulièrement sensibles à l'électroporation du fait de leur forme allongée et de leur taille relativement importante. Un certain nombre de syndromes douloureux ou déficitaires, transitoires ou persistants, au niveau de membres traversés par le courant, résultent probablement au moins en partie de cet effet électrique direct non thermique sur la membrane cellulaire.

ENERGIE SPECIFIQUE DE FIBRILLATION

(**ventriculaire**, sous-entendu) C'est l'intégrale d'action $\int i_2 dt$, pour une valeur donnée de R, résistance du corps. Cette grandeur, exprimée en joule / ohm ou en ampère carré x seconde, est la plus adaptée pour quantifier le risque encouru par une personne foudroyée, i étant l'intensité du courant qui traverse son corps durant le temps t . **Le seuil d'énergie spécifique ou seuil léthal**, seuil au-dessus duquel les personnes sont exposées à un risque d'électrocution, fait l'objet de recherches internationales.

FOUDROIEMENT

(voir aussi « coup de foudre ») Electrification par courant de foudre. Synonyme de : accident dû au passage de courant de foudre à travers le corps et ses conséquences. Les foudroiements sont **volontiers collectifs** ; cette caractéristique est importante à tous les stades de la kéraunopathologie, de la physiopathologie à la prévention.

FULGURATION

Ce mot est toléré par les spécialistes dans le même sens que foudroiement. Fulguration a un caractère suranné et surtout ambigu en ce qui concerne le domaine de la kéraunopathologie, puisque selon certains dictionnaires de français, il pourrait ne désigner que les accidents mortels dus à la foudre. Enfin, « fulguration » a été adopté dans le traitement de certains troubles du rythme cardiaque pour désigner certaines techniques consistant en l'ablation de tissu cardiaque anormal par décharges électriques délivrées par une électrode introduite dans les cavités cardiaques concernées.

KERAUNOPATHOLOGIE

(de kéraunos, foudre)

Ce terme, introduit dans la littérature médicale pour la première fois en 1995 par le spécialiste australien C.J. Andrews, a été aussi adopté en France (E. Gourbière). Terme générique désignant l'étude de l'ensemble de la pathologie provoquée par le passage d'un courant de foudre à travers le corps humain ou animal.

MECANISMES DE FOUROIEMENT DES PERSONNES

On définit les mécanismes selon qu'ils sont directs ou indirects

Coups de foudre direct :

La foudre frappe directement une partie du corps ou un objet bon conducteur et en contact avec le corps (outil, club de golf, parapluie à embout et armature métalliques) ; les parties (ou objets) proéminentes, et les plus haut situées, sont les plus exposées. Le coup de foudre direct frappe typiquement une personne isolée (dans un champ par exemple), debout, pieds au sol et au potentiel de celui-ci.

Coups de foudre indirects :

Eclair latéral - Le corps est traversé par un courant de foudre dérivé d'une structure (un arbre par exemple) elle-même directement foudroyée. Ce mécanisme indirect est tout aussi dangereux qu'un coup direct.

Tension de contact (ou de toucher) –Tension apparaissant, lors d'un défaut d'isolement entre des parties conductrices simultanément accessibles. Dans le cas particulier de l'écoulement de courants de foudre, différence de potentiel pouvant apparaître entre une pièce conductrice portée à un certain potentiel et le potentiel du sol ou des masses à son voisinage immédiat. Cette différence de potentiel est appliquée à une personne (ou un animal) lorsque celle-ci touche simultanément la pièce conductrice et le sol ou une masse.

Tension de pas - Différence de potentiel pouvant apparaître entre deux points de la surface du sol, lorsqu'un courant électrique s'écoule dans le sol. Lorsque la distance entre ces points correspond à l'écartement entre les pieds d'une personne (ou les pattes avant et arrière d'un quadrupède), cette différence de potentiel est appelée « tension de pas ». Lorsque la différence entre les points est de un mètre, et que de plus elle est orientée de façon à mesurer le maximum de tension, cette différence de potentiel coïncide avec la définition d'un gradient de potentiel.

Tension induite (coup à distance) - Ce mécanisme indirect entraîne un type d'éclair induit. Un exemple classique : une personne debout, foudroyée dans un abri parfaitement isolé du sol mais dont le toit est en tôle. Une branche d'un traceur descendant restée « libre », à distance de l'abri, induit, au moment où se produit l'arc en retour, une différence de potentiel suffisante à l'intérieur de l'abri, entre la tête de la personne et le toit de l'abri, pour que se produise un éclair induit entre ces deux points.

PHYSIOPATHOLOGIE

Etude du fonctionnement de l'organisme ou des organes malades, supposant déjà connu le fonctionnement normal (physiologie). La physiopathologie comprend l'étude du mode et des mécanismes du foudroiement ainsi que les conséquences immédiates, secondaires et tardives.

POINT de CONTACT POINT D'ENTREE POINT DE SORTIE

A partir du moment où le corps humain devient partie intégrante du circuit de l'arc en retour, cela signifie que le courant d'arc de foudre est entré dans le corps via un (ou plusieurs) point(s) donné(s), à travers la peau. Il existe de même un ou plusieurs points de sortie. Il est possible que ces points ne soient pas matérialisés par des marques ou brûlures électriques localisées, caractéristiques, à toujours rechercher sur la peau, les vêtements, chaussures... ou ce qu'il en reste après amorçage (phénomène très bref) puis chemine ment de l'arc de contournement.

RESISTANCE ELECTRIQUE DU CORPS

Selon la Commission Electrotechnique Internationale, la résistance électrique du corps est composée de résistances en série, celles de la peau et la résistance interne. Sa valeur est dépendante du trajet du courant, de la surface de contact, de l'état de la peau et de la tension aux bornes du corps, en cas d'électrisation. Sa valeur (valeur asymptotique, à 5%) ne dépasse pas 650 ohms, à partir de 1000 volts (courant alternatif, 50/60 hertz), pour un trajet main à main, avec d'importantes surfaces de contact, dans des conditions sèches. Nous ne disposons pour le courant de foudre que d'estimations ; la résistance d'un corps humain adulte, pour un trajet tête-pieds, ne dépasse pas 300 ohms, ce qui est relativement faible.

SEUIL LETAL

Energie minimale susceptible de déclencher le décès immédiat par électrocution suite au passage de courant de foudre à travers le corps. La valeur-seuil à 5%* proposé par la Commission Electrotechnique Internationale est de l'ordre de 9 joules, en supposant une résistance corporelle totale de 500 ohms (adulte). Ce seuil ne concerne en fait que le risque de fibrillation ventriculaire. Des études plus approfondies sont en cours.

* la valeur à 5% est la valeur d'énergie pour laquelle-le 5 personnes sur 100 risquent de décéder alors que 95 sur 100 résistent et peuvent supporter des valeurs bien plus élevées.

TETANISATION

Secousses itératives involontaires des fibres musculaires provoquée par une électrisation due généralement au courant alternatif sinusoïdal 50 / 60 hertz en raison de son pouvoir excitateur neuromusculaire, à partir d'un seuil aussi bas que 10 mA. Ce qui est plus souvent décrit chez les foudroyés est une crise convulsive très brève pouvant évoquer une épilepsie, par décharge électrique passagère du cortex cérébral.

2 – EPIDÉMIOLOGIE ET CLINIQUE DES FOUDROIEMENTS

ACOUPHENES

Bourdonnements d'oreille presque toujours subjectifs (uniquement perçus par le patient), qui accompagnent, quand ils sont graves, plutôt des lésions de l'oreille moyenne, et quand ils sont aigus, des lésions de l'oreille interne. Lors d'un foudroiement, des acouphènes peuvent par exemple accompagner la très fréquente rupture du tympan mais aussi toute autre lésion de l'oreille, par électrisation, blast ou traumatisme secondaire. Les acouphènes sont donc des signes d'appel à ne jamais négliger.

ARRÊT CARDIORESPIRATOIRE (ACR) ou ARRÊT CARDIO-CIRCULATOIRE

Un arrêt du coeur peut précéder un arrêt de la ventilation spontanée et vice versa. **Arrêt cardiaque** : absence ou inefficacité des contractions ventriculaires provoquant un collapsus circulatoire systémique immédiat dont la cause la plus fréquente est la fibrillation ventriculaire (FV).

Arrêt respiratoire : la ventilation spontanée peut cesser par obstruction aérienne ou par dépression de la commande respiratoire.

ASYSTOLE

Absence complète d'activité électrique à l'électrocardiogramme (ECG « plat »), avec abolition de la perfusion (les organes ne reçoivent ni ne débitent plus de sang), abolition de la pression artérielle et du pouls.

BAROTRAUMATISME

Traumatisme provoqué par une variation de pression ambiante quels qu'en soient le sens ou le siège. Ce mot, surtout employé en médecine de plongée et en médecine aérospatiale, est également employé en kéraunopathologie, le siège le plus fréquent du barotraumatisme dû à la foudre étant l'appareil auditif : hémorragies avec ou sans perforation de la membrane tympanique, lésions de l'oreille interne.

BRÛLURE

Traumatisme initialement local faisant suite à une agression le plus souvent thermique de la barrière cutanée, atteinte à différents degrés de profondeur (1^{er} au 3^{ème} degré). Les **brûlures chez le foudroyé** sont toujours beaucoup plus superficielles que les brûlures électriques par un courant haute tension de fréquence industrielle. La durée du passage de courant dans le corps est, en effet, très brève. Plus de 10% des foudroyés n'ont aucune trace de brûlure. Les brûlures dues à la foudre ont un intérêt diagnostique majeur. Leurs aspects sont très variés dont quatre principaux:

- brûlures superficielles par flash (rayonnement de l'arc), souvent simple roussissement de la peau, des cheveux et poils
- brûlures électriques aux points d'entrée/sortie, identifiables par leur aspect circonscrit et circulaire et leur profondeur, permettant de reconstituer le trajet du courant
- brûlures consécutives à la fusion d'une chaîne, d'un bracelet... dont l'empreinte parfois profonde localise la zone d'amorçage de l'arc de contournement
- marquage céramique de la peau par des figures arborescentes en forme de feuille de fougère ou figures de Lichtenberg, de mécanisme non thermique, pathognomonique du foudroiement

BRÛLURE ELECTRIQUE

Ce type de brûlure siège aux points d'entrée et sortie du courant de foudre et éventuellement sur le trajet déterminé par ces points. Les brûlures internes, avec nécrose musculaire disséminée, sont exceptionnelles lors des foudroiements, mais au contraire assez fréquentes lors des électrifications par courant haute tension de fréquence industrielle.

CATARACT

Opacification du cristallin de l'oeil. Le cristallin ayant pour rôle de focaliser la lumière sur la rétine, son opacification a un retentissement plus ou moins rapide sur la fonction visuelle, le plus souvent baisse de l'acuité visuelle (de près et/ou de loin), impressions de brouillard devant les objets, photophobie...La cataracte, uni-ou bilatérale fait partie des séquelles relativement fréquentes des foudroiements. L'examen ophtalmologique est systématique chez le foudroyé et doit être répété régulièrement pendant 18 mois à 2 ans, quel que soit l'âge du foudroyé.

EXTRASYSTOLE VENTRICULAIRE (ESV)

Trouble fréquent du rythme cardiaque correspondant à une excitation supplémentaire et anticipée des ventricules. Sur le tracé électrocardiographique, une ESV se traduit par un complexe QRS (dépolérisation ventriculaire) de morphologie différente de celle des complexes QRS d'origine sinusale auriculaire (origine normale) et de durée anormalement longue ($\geq 0,12$ s).

Sur le plan clinique : sensation de palpitations, voire aucun signe. Ce trouble du rythme peut être isolé ou au contraire il peut précéder la survenue d'une fibrillation ventriculaire.

FIBRILLATION AURICULAIRE (FA)

Trouble du rythme cardiaque caractérisé par une activité désordonnée des oreillettes, subissant des trémulations multiples et anarchiques à raison de 400 à 600/minute (selon enregistrement intra-auriculaire). De ce fait l'hémodynamique cardiaque est fortement perturbée. La FA est assez fréquente lors des électrifications, en particulier celles dues à la foudre.

FIBRILLATION VENTRICULAIRE (FV)

Trouble du rythme cardiaque majeur, cause principale de mort subite et en particulier d'électrocution. Le décès ne peut être évité que si la victime subit immédiatement une réanimation cardio-respiratoire par massage cardiaque externe et bouche à bouche, suivie en urgence d'un ou plusieurs choc(s) électrique(s) externe(s).

FIGURES DE LICHTENBERG

Ces lésions à type d'érythème sous cutané, sans brûlure, qui ne blanchissent pas à la pression, sont pathognomoniques de la foudre ; autrement dit : leur présence atteste à elle seule le diagnostic de foudroiement. Elles dessinent des figures arborescentes en feuille de fougère. Leur manifestation est immédiate mais transitoire (disparition en 2 à 3 jours maximum). Elles sont dues à la propagation à très grande vitesse de l'amorçage avant production de l'arc de contournement.

HYPOACOUSIE - [voir aussi : surdité]

Diminution plus ou moins importante de l'acuité auditive par rapport à l'acuité normale, de cause (traumatique, infectieuse...) et d'origine topographique variables (oreille interne et/ou moyenne). Cas particulier du foudroiement : une hypoacousie est assez fréquente et peut avoir plusieurs

mécanismes, parfois associés entre eux. Le blast de la foudre qui domine ces mécanismes a la particularité de léser aussi bien l'oreille moyenne (tympa inclus) que l'oreille interne.

ISCHEMIE

Diminution ou arrêt de la circulation artérielle dans un territoire localisé. La conséquence est une privation d'apport en oxygène aux différents tissus. Si celle-ci se prolonge, des séquelles irréversibles sont possibles par nécrose de la zone considérée. Le passage de courant électrique peut entraîner une ischémie, par effet thermique ou non thermique.

KERAUNOPARALYSIE

Paralysie complète et transitoire des membres inférieurs ou des quatre membres à la suite d'un foudroiement.

KERATITE

Atteinte inflammatoire de la cornée de l'oeil.

MORT APPARENTE

Expression utilisée pour désigner l'arrêt cardio- circulatoire pouvant faire suite à une électrisation.

MORTALITE

Il faut distinguer d'une part la mortalité par foudroiement dans une population donnée (notion de fréquence) et d'autre part la mortalité consécutive à un foudroiement (notion de gravité).

- *La mortalité par foudroiement ou incidence des décès dus à la foudre est le nombre de nouveaux cas de décès par la foudre durant une période définie, au sein d'une population définie. Elle est très faible en France, puisque le nombre annuel de décès de personnes par la foudre oscille entre 8 et 15. Concernant les animaux (bétail), le nombre annuel de bêtes tuées par la foudre, difficile à connaître, est sûrement bien inférieur au nombre habituellement avancé (15 000).*
- *La mortalité parmi les personnes foudroyées est le rapport du nombre de foudroyés décédés sur un nombre total n de foudroyés (les décédés + les survivants), durant une période définie. Cette proportion serait, dans le cas du moins des foudroiements directs, de l'ordre de 0,30. L'épidémiologie des foudroiements est mal et peu développée ; il est trop fréquent de lire des chiffres de mortalité inventés de toutes pièces ou issus de petits échantillons non représentatifs. Une étude nationale que nous commençons devrait participer à améliorer cet état de choses, en France du moins.*

MYELOPATHIE

Terme générique désignant une atteinte de la moelle épinière ou de la moelle osseuse. Dans le cadre des foudroiements, c'est l'atteinte de la moelle épinière qui nous intéresse ; elle peut être due au seul passage du courant à travers la moelle.

NECROSE

Mort cellulaire ou tissulaire faisant suite à une ischémie trop prolongée.

NEUROLOGIQUE CENTRAL (système)

Masse de tissu nerveux composée de substance grise et blanche, formant l'encéphale et la moelle épinière à l'exclusion des nerfs sensitifs, moteurs, sympathiques ou parasympathiques qui forment, quant à eux, le système nerveux périphérique - (les nerfs sympathiques et parasympathiques sont les nerfs végétatifs)

-.

NEUROPATHIE

(souvent employé pour POLYNEVRITE ou POLYNEUROPATHIE PERIPHERIQUE) Terme générique regroupant typiquement les atteintes sensitivomotrices, multiples, bilatérales et symétriques des nerfs périphériques dont les étiologies sont multiples (génétique, carencielle, toxique, métabolique - un exemple métabolique et connu : la polynévrite diabétique). Dans le cas des foudroiements, nous employons ce terme pour désigner toute atteinte même unique (un seul

nerf), seulement sensitive ou motrice, manifestation due au passage du courant de foudre à travers un membre où passe le nerf en question.

PARESIE

Paralysie partielle ou incomplète d'un ou plusieurs muscles, caractérisée par une diminution de la force musculaire.

PARESTHESIE (syn : DYSESTHESIE)

Sensation anormale non motivée par un stimulus extérieur ou provoquée par un contact normal, mais dont la perception est déformée.

SURDITE - (cf. hypoacousie)

Diminution uni ou bilatérale de l'ouïe, quels qu'en soient le degré et l'origine.

SYNDROME DE STRESS POST-TRAUMATIQUE

Développement plus ou moins rapide, suite à un traumatisme émotionnel (catastrophe, accident, deuil...), d'un état anxio-dépressif caractérisé par des troubles du sommeil, de l'attention, de la mémoire, et des réminiscences douloureuses et itératives de la situation traumatique.

SYNDROME POST-COMMOTIONNEL

Ce syndrome aussi appelé syndrome subjectif des traumatisés du crâne ou névrose post-traumatique fait suite à un traumatisme crânien souvent sans signes de gravité ou à tout autre accident. A la suite d'un foudroiement un syndrome post-commotionnel séquellaire n'est pas rare. Sur un fond d'anxiété, sont associés, entre autres signes parmi les plus fréquents, des céphalées, des vertiges et des troubles de la concentration. Aucune anomalie n'est objectivée. *Il est parfois difficile de classer les séquelles psychiques d'un ancien foudroyé ou tout autre électrisé dans une catégorie noso-graphique donnée ; d'autre part, les manifestations des deux syndromes décrits ci-dessus peuvent très bien être associées à des anomalies objectives significatives (électroencéphalogramme, scanner cérébral).*

TACHYCARDIE

Accélération permanente ou paroxystique de la fréquence cardiaque au-delà de 100/min, chez l'adulte.

TACHYCARDIE SINUSALE

Accélération du rythme cardiaque de base ; le point de départ des contractions autonomes du cœur reste le nœud sinusal, appelé en physiologie le pacemaker du cœur (localisé au niveau de la paroi de la veine cave supérieure s'abouchant dans l'oreillette droite), mais la vitesse de progression de l'impulsion de départ est trop rapide. C'est la forme de tachycardie la plus fréquente après une électrisation et certainement la plus bénigne (en général transitoire).

TROUBLES DE LA REPOLARISATION

Anomalies électrocardiographiques du segment ST et de l'onde T que l'on peut observer lors d'une insuffisance coronarienne mais aussi à la suite du passage de courant à travers le cœur. Dans le cas des électrisations, ces anomalies disparaissent en principe rapidement.

3 - TRAITEMENT D'URGENCE PROTECTION DES PERSONNES PREVENTION DES FOUROIEMENTS DE PERSONNES

CHOC ELECTRIQUE EXTERNE

Traitement de certains troubles du rythme cardiaque graves dont la fibrillation ventriculaire, seule envisagée ici, par décharge électrique transthoracique dans des conditions physiques précises, afin de resynchroniser l'activité électrique et mécanique du coeur. Les deux électrodes du défibrillateur sont respectivement appliquées l'une en regard de la pointe du coeur et l'autre sous la clavicule droite près du bord droit du sternum. La décharge électrique, réitérée en cas d'inefficacité, est délivrée à travers le coeur, à partir de condensateurs (200 à 400 joules par décharge de 0,01 seconde). La procédure de défibrillation est un acte médical mais les défibrillateurs semi-automatiques commencent à être utilisés par des secouristes ayant reçu une formation spécialisée.

REANIMATION CARDIOPULMONAIRE

Nous nous référons à la réanimation de l'arrêt cardiocirculatoire, le plus souvent dû à une fibrillation ventriculaire. Le principe de la réanimation de base (secourisme) par ventilation artificielle (bouche-à-bouche) et massage cardiaque externe associé, à deux sauveteurs, est d'assurer le travail normalement automatique de la « pompe cardiaque » en intercalant, **selon une technique bien codifiée**, 1 insufflation pour 5 massages à un rythme de 80 à 100 compressions/min. Un seul sauveteur alternera 2 insufflations et 15 compressions à un rythme de 80 compressions/min.

La seule chance de sauver une victime électrisée par la foudre et en état d'arrêt cardiorespiratoire est de mettre immédiatement en oeuvre une réanimation cardiopulmonaire de base, d'alerter simultanément les secours médicaux d'urgence, et de continuer à réanimer jusqu'à ce qu'une équipe médicalisée prenne le relais.

PREVENTION

Comme pour tous les types d'accident, il existe différents types de prévention que nous ne pouvons pas détailler dans un simple glossaire. A partir de ces types de prévention, de véritables stratégies pourraient être développées comme on le fait par exemple dans le cas des accidents domestiques, dont les brûlures

- la prévention **active** consiste à informer le public des effets de la foudre et des moyens de s'en protéger
- la prévention **passive**, en matière de foudroiement de personnes, ne peut guère s'exercer qu'à l'intérieur des bâtiments ; dans les zones à risque, les occupants d'une habitation dont l'installation et les matériels électriques sont convenablement protégés contre la foudre sont eux aussi protégés contre la foudre
- la prévention **primaire** vise à éviter qu'une personne soit foudroyée
- la prévention **secondaire** intervient sur les lieux de l'accident, lorsqu'un foudroiement vient de se produire, et vise à réduire la gravité des conséquences (secourisme, réanimation)
- la prévention **tertiaire** est l'affaire des professionnels de la santé qui reçoivent un foudroyé, en urgence, ou en consultation à distance de l'accident ; tout doit être mis en oeuvre pour améliorer le pronostic des complications immédiates et des séquelles.