

La foudre par F5FGP

Plusieurs articles de très bonne facture traitent de la foudre, de ses effets, des perturbations engendrées, etc.

_ Dans la revue Radio-Ref d'Avril 1982, page 287.

_ Dans Mégahertz Magazine de Février 2003 N°239, page 22.

_ Dans Science et Vie N°1298 de novembre 2025 page 26 : « On sait comment naît un éclair ! »

Les deux premières revues sont téléchargeables facilement.

_ Emission TV « Le monde de Jamy : La foudre, diffusée en septembre 2025, visible en Replay sur le Net, très intéressante.

Je me suis servi également d'un cours « CEM » de l'IRA à Arles, stage que j'ai effectué en 2002.

Comment se génère la foudre ?

Il faut un nuage dit d'orage dans la chaleur de l'été.

Le nuage forme un condensateur avec le sol, l'air étant le diélectrique.

Ex : un nuage de 1 Km² à 2000 m d'altitude forme une capa de 0,3 µF environ avec le sol. La tension de claquage de ce « condensateur » atteint les 50 millions de volts, diminue quand le « diélectrique air » se charge d'humidité, s'en suit un éclair de foudre qui peut faire des dégâts là où il tombe.

La caractéristique principale est le **courant de foudre** qui peut aller jusqu'à plusieurs dizaines de Kilo Ampères, la moyenne étant de **20 KA délivrées en moins de 1µs**, ceci explique la puissance instantanée phénoménale d'un éclair, capable d'exploser un arbre, volatiliser une antenne, etc.

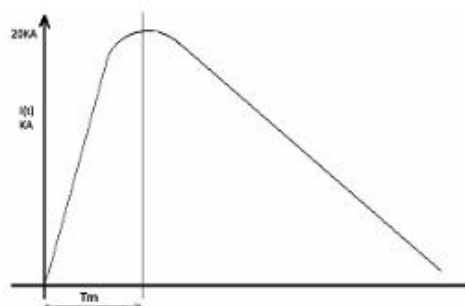
Ce courant va circuler dans le sol, autour du lieu d'impact, donc générer des tensions tout aussi phénoménales dans le sol et à sa surface, surtout s'il est sec, donc mauvais conducteur.

Ceci peut conduire à des accidents, cet été plusieurs OM's étaient au col des Palomières, près de Bagnères de Bigorre, à l'occasion du « contest F9NL », lorsqu'un orage est arrivé, coup de foudre et ils ont vu 4 vaches tuées à quelques dizaines de mètres ; pour eux, l'antenne et son préampli ont été détruits ; ils en ont été pour une très grosse peur...

Ce qui a tué ces vaches est la DDP générée entre les pattes des animaux par le courant de foudre.



Descente du paratonnerre de l'église du village d'Espès.



Conversion Temps de montée en fréquence :

$F = 1/\pi \cdot T_m$, avec : $T_m = 1 \cdot 10^{-6}$ secondes, $F = 0,318$ MHz ;
ce qui donne une longueur d'onde de 942 m

Relation de l'impulsion de foudre avec sa fréquence.

La foudre fait aussi des dégâts par rayonnement, par le champ électrique généré par l'éclair ; ce champ diminue avec la distance, on en perçoit les craquements dans nos TRX en 80 ou 40 m, alors que les orages grondent parfois à plusieurs centaines de Km. Il a été mesuré 1V/m à 200 Km de distance, mais 10 KV/m à 100m de l'impact !

On l'oublie peut-être, mais nous disposons d'antennes formidables, ce sont les lignes électriques aériennes qui nous alimentent en 230V, surtout dans nos campagnes ! Il s'en suit la survenue de

surtensions destructrices dans nos demeures, causant parfois de gros dégâts dans nos appareils électroménagers.

Ceci nous amène considérer la foudre en terme de HF : le temps de montée de l'impact étant de 1µs, nous donne une fréquence de 318 KHz, c'est de la HF !

Les protections :

le paratonnerre : ailleurs que chez soi, nous disait l'animateur au cours du stage à Arles !!!

Il attire la foudre, on le voit souvent en haut du clocher de l'Eglise du village ; se tenir à l'écart de la descente en feuillard de 3 cm de large, ou conducteur plein de 8 mm de diamètre, en cas d'orage !

Blocs para-foudre 230 V posés sur les Tableaux électriques après le Compteur EDF, obligatoires dans certains départements, efficaces, ils sont vivement conseillés partout, ils protègent les installation et appareils électriques de la maison. J'en ai fait l'expérience chez moi, et aussi, surtout, en milieu professionnel, là, j'ai constaté le « avant », il n'y avait pas, et le « après » avoir équipé nos installations, spectaculaire !

Inconvénient : fait tomber le Disjoncteur Général, que l'on doit réarmer à la main, ou en automatique comme sur le site du R4 à la Pierre-st-Martin.

Attention chez soi au congélateur qui n'est plus alimenté !

On peut trouver ces blocs pour moins de 100€.



Bloc PF bleu sur tableau au QRA



Transformateur d'isolement : l'équipement alimenté est isolé de l'alimentation du réseau EDF.

L'avantage est que le transformateur, de par sa construction, est une barrière pour les surtensions transitoires générées par le rayonnement d'un impact de foudre. Nous en utilisons sur le site du R4 avec satisfaction, comme nous en avons utilisés en pro sur des caméras en site isolé.

Inconvénient : adapté pour les petites puissances, et cher !

Blocs parafoudre Téléphoniques pour la protection des téléphones fixes et de la Box Internet, Si on est raccordé à la Fibre Optique, pas de risque : la fibre ne conduit pas l'électricité !

Lignes coaxiales HF, VHF, UHF : protections foudre spécifiques, efficaces mais attention à la puissances maxi admissible, souvent elle est de 50 w, mais peuvent être prévues pour des puissances plus fortes, (500w et plus pour les émetteurs FM des Radio Libres), dans ce cas on utilise les propriétés des Quart d'Onde fermés en dérivation sur la ligne coaxiale et dont le bout est raccordé à la Terre, A noter que la longueur du dit quart d'onde est fonction de la fréquence de l'appareil à protéger,

Les blocs Protection Foudre coaxiaux disposent d'un éclateur interne calibré à 90v ou plus ; on trouve de tels dispositifs pour des puissance allant de 50 W à plusieurs centaines de W, pour des plages de fréquences allant de 0 à 1000 MHz et plus (Diamond SP1000 ou SP3000), pour un prix de quelques dizaines d'EURO, ça coute moins cher qu'un TX !!!!

Après une décharge ils reviennent à leur état normal, prêts pour un autre coup !

Ces dispositifs s'ont d'un fonctionnement simple : c'est un court-circuit au moment de l'impact de foudre, et reviennent à leur état initial après...sauf si l'impact est très fort et restent en court-circuit ou dégradés !

La plupart du temps on ne sait pas qu'ils ont fonctionné, mais rien de fâcheux ne s'est produit, c'est le but ! Sur des modèles de marque Diamond on peut remplacer l'éclateur qui peut être acheté en prévision.



Parafoudres HF coaxiaux

Tous ces dispositifs doivent être reliés à une Prise de Terre efficace, voire dédiée.

La Prise de Terre de nos habitations, si elle est efficace pour la protection des personnes (disjoncteurs 30 mA), peut être moyenne voire nulle pour dériver un coup de foudre !

Une câblette de 16 mm² est excellente pour relier un Tableau électrique à une terre mesurée de quelques Ohms ou dizaine d'Ohms, au regard du 230 V EDF, ceci pour la protection des personnes grâce au disjoncteur 30 mA, mais il faut faire mieux, si l'on peut, pour la protection foudre. A noter que si l'on ne peut pas faire mieux pour différentes raisons, on aura tout de même une protection efficace, c'est bien mieux que rien !

Oui mais, la foudre n'est pas un courant alternatif à 50 Hz, ni du courant continu ! On peut

l'assimiler à de la HF vers 300 kHz ou plus, et c'est là que les problèmes se compliquent un peu !

Dans mon habitation, la ligne de Terre dédiée fait deux mètres du tableau électrique au piquet de terre dédié, la liaison se fait avec un toron de 5 câbles isolés en 6 mm² et réunis aux 2 bouts, ce qui diminue l'impédance de cette liaison.

La résistance d'une câblette de 35 mm² et 10m de long vaut environ 5 mΩ. Avec un courant de 12 KA, on a une DDP de 58,7 V aux bornes de cette câblette, c'est minime !

MAIS la foudre est de la HF, donc il faut considérer l'impédance de ce câble qui est d'environ de 1μH /m, donc 10μH pour les 10 mètres.

Avec une pente de courant de foudre de 40KA/seconde, on arrive à une tension de 400KV pour les 10 m, ou 40KV par mètre ; là, ça fume !!!

Il y a peu de différence d'impédance entre un câble de 35 mm² et un fil de 6 mm² de même longueur.

Dans mon cas perso, la ligne de terre fait 2 m, donc 2 μH environ, mais j'ai 5 câbles en parallèle, donc l'inductance résultante est de 2μH /5 =0,4 μH, donc la tension sera de 40KV x 0,4 = 16 KV au lieu des 80 KV si je n'avais qu'un seul fil, c'est un peu mieux !

Pour baisser encore l'inductance de la liaison parafoudre/terre, on a intérêt, quand c'est possible, à utiliser un conducteur plat et large, un feuillard de bonne largeur, on fait (ou faisait) ainsi avec les descentes de paratonnerre. On réalise aussi la protection d'un local en l'entourant de ce feuillard, on fait ainsi une cage de Faraday efficace. Plus c'est large, plus l'inductance baisse, c'est ce que l'on a fait sur le site du relais R4 à La Pierre St Martin avec un chemin de câbles de 60 cm de large .

Sur ce site du R4 à la Pierre St Martin le problème a été traité d'une autre façon, sachant que nous sommes sur une hauteur dégagée en altitude, donc susceptible d'être foudroyée, et sur du rocher qui plus est ! Une prise de terre classique devient une vue de l'esprit !

Nous avons vu que la foudre est de la HF, il faut donc trouver des solutions « HF » !

En montagne, le rocher domine, la couche de terre est très mince, avoir une mise à la terre efficace des installations est mission presque impossible !

Les propriétés HF de la foudre nous viennent en aide : réaliser un condensateur entre l'équipement et le sol, qui est souvent le rocher ou le massif en béton des antennes.

C'est ce qui a été réalisé en intercalant une tôle de 1 m² posée sur les massifs et intercalée sous les pylônes des antennes du R4, ce qui nous crée une capacité d'environ 10 nF entre le sol et les pylônes.

Cette capacité va permettre d'évacuer vers le sol les décharges de foudre reçues, soit directes ou induites à distance par rayonnement.

A l'intérieur du local nous utilisons le même procédé, une plaque en inox de 1 m² est plaquée sur le sol, puis le rack du R4 est posé dessus ; toutes les masses des appareils sont reliées au plus court à cette plaque au sol.

Côté antennes, un chemin de câbles métallique de 60 cm de large est sérieusement boulonné à cette plaque posée sur le sol, pour offrir une impédance minimum et une équipotentialité maximum avec tous les équipements des relais.

Chacune des antennes du site est raccordée à un bloc parafoudre solidement fixé sur ce chemin de câbles, il y a continuité électrique avec la plaque au sol. Un piquet de terre est aussi raccordé à cette plaque !

Tous les appareils sont alimentés en 230 V au moyen de transformateurs d'isolement.

Quels résultats ?

En plus de 20 ans d'exploitation du site R4, nous n'avons eu aucune panne électronique due à un problème de foudre !

Pourtant nous avons enregistré un coup au but : une antenne a été foudroyée (on a vu l'impact sur un tube de l'antenne), le parafoudre a pris mal, et c'est tout !

Et à la maison ?

Côté alimentation EDF, j'ai sur le tableau électrique un bloc PF Soulé câblé en sortie du disjoncteur EDF, puis relié à un piquet de terre de 2 m de longueur dédié, par un toron de 5 fils isolés de 6 mm². Par expérience, ça fonctionne bien et a bien protégé télé, machine à laver et autres, mais le DJ EDF est tombé, c'est normal !

A noter : j'ai vu des schémas de câblage de ces modules en disposant un disjoncteur 20A entre la ligne d'alimentation et le PF ; pour moi, c'est une erreur, car ce disjoncteur peut tomber, et s'il survient un autre coup de foudre consécutif, il n'y aura plus de protection ! Ce ne sont pas les quelques petits millimètres entre contacts d'un DJ ouvert qui vont empêcher le courant de foudre de passer !

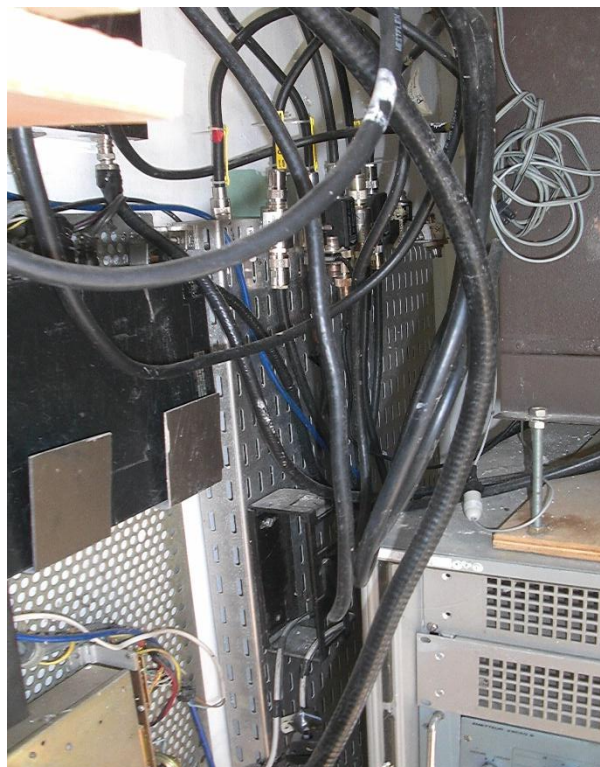
Côté antennes, même chose qu'au R4 : une plaque au sol sous le parquet flottant du local, relié à une plaque de 20 cm de large sur laquelle je pose les PF coaxiaux des antennes. Une prise de terre est plantée à 1 m dans un endroit bien humide.

A noter qu'il existe des PF coaxiaux couvrant de 0 à 1 ou 3 GHz pour des puissances allant jusqu'à 400W, pour le prix de quelques dizaines d'EURO. (SP1000P ou SP3000P Diamond en 200 W ou 400 W).

Cet exposé n'est que le résultat de l'expérience de terrain acquise en professionnel, puis dans le domaine radioamateur. Il est très incomplet et la consultation des articles précités est certainement très intéressante !



Ici, le bas du chemin de câble, au Sol, plaque. On voit l'émetteur du R4.



Ici, le haut du chemin de câble avec les parafoudres et les coax des antennes, on aperçoit le RU13r noir à côté.



Les 2 pylônes du R4 avec les plaques sur les Massifs.



Arrière du rack, on voit la plaque au sol et le chemin de câble. Il y a aussi une câblette de terre !

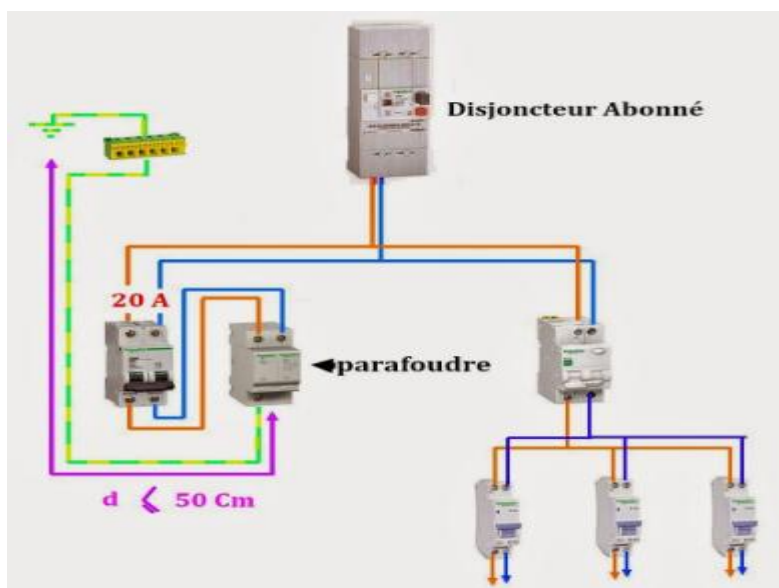


Schéma de câblage de ce parafoudre, à noter le disjoncteur en série avec le PF, ce qui ne me paraît pas très judicieux, s'il disjoncte, plus de protection !