

LA Foudre

I INTRODUCTION

• Le coup de foudre est une décharge électrique se produisant dans un grand intervalle dont les « électrodes » sont d'une part un nuage orageux chargé et d'autre part la terre.

La foudre reste scientifiquement assez mal connue car étant brève et imprévisible, son étude en laboratoire est donc difficile. Dans les grands laboratoires on provoque le coup de foudre par le lancement d'une fusée reliée par un fil à la terre.

• L'impact de la foudre sur une installation est équivalent à un générateur de courant très fort (10 à 100 kA et plus). Il produit une surtension considérable.

• L'étude de la foudre a deux aspects :

Aspect physique : mécanisme de la foudre ;

Aspect électrique : protection contre la foudre.

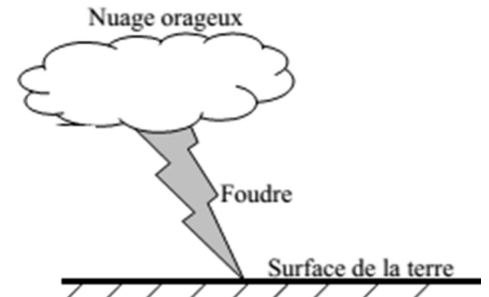


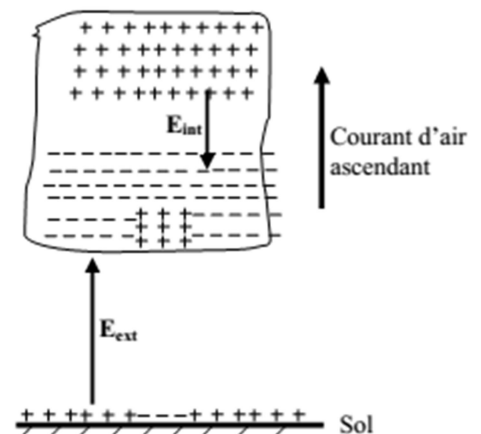
Figure 1

Formation des charges :

Les violents courants d'air ascendants provoquent des collisions entre les gouttes d'eau et les micro-particules de glace, ce qui provoque la création des charges électriques par frottement.

Répartition des charges :

Les micro-particules de glace plus légères et chargées positivement, sont emportées par le courant d'air ascendant vers le haut, occupent la partie supérieure du nuage et forment le pôle positif. Tandis que les gouttes d'eau chargées négativement s'établissent dans la partie inférieure et créent le pôle négatif. Une petite quantité de charges positives demeurent à la base du nuage.



Le nuage fait apparaître sur la terre, par influence électrique, une charge de signe opposé et crée ainsi deux véritables dipôles électriques:

- Un dipôle interne, généré entre les pôles positif et négatif du nuage: si le champ interne E_{int} devient suffisamment grand, il provoque un claquage interne dans le nuage \Rightarrow **ECLAIR**.
- Un dipôle externe, entre la base nuage et la surface de la terre: si le champ externe E_{ext} atteint les conditions critiques, il finit par provoquer une grande décharge entre le nuage et la terre \Rightarrow **FOUDRE**.

II) CHAMP ELECTRIQUE

II.1) Module et sens du champ

Le champ électrique au sol qui était par temps normal de 120 V/m et dirigé vers la terre, avec l'arrivée du nuage chargé électriquement, il s'inverse et peut atteindre 15 à 20 kV/m. Au droit du nuage (sous le nuage), le module du champ atteint la valeur maximale $E_{max}=20$ kV/m, faisant apparaître entre le nuage et la terre une d.d.P (max) = 20 kV/m x 2000m= 40 MV.

II.2) Pouvoir de pointe

Sur les régions à faible rayon de courbure le champ atteint des valeurs très élevées:

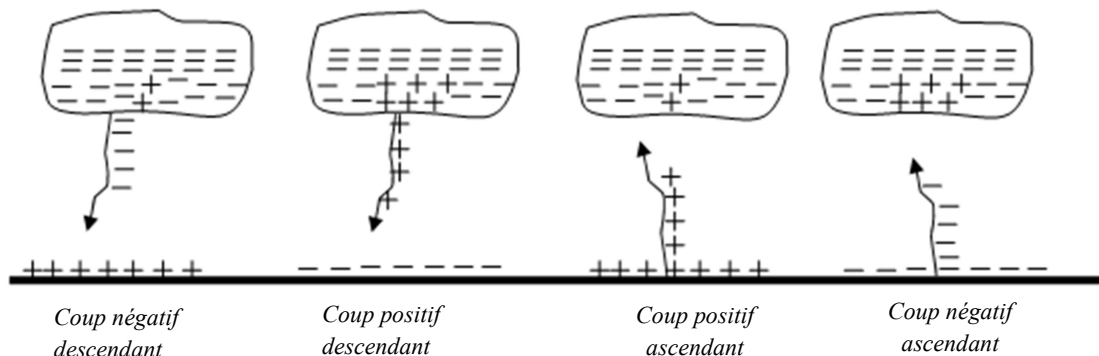
- a) une demi-sphère : $E_p \approx kE_i$ où $k \approx 3$;
- b) demi-ellipsoïde: $E_p \approx k E_i$ où $k \approx 300$.

Conclusion : Ce phénomène favorise l'apparition du coup de foudre à cet endroit; pour cela, la foudre frappe en général les installations les plus élevées et les plus pointues (tours, montagne, arbre, pylônes...). Il est donc recommandé de s'éloigner de ces endroits par temps orageux pour éviter l'impact de la foudre.

III) CLASSIFICATION DES COUPS DE Foudre

Le traceur: Le traceur est une décharge préliminaire peu lumineuse qui se produit entre la terre et le nuage, préparant le chemin au canal de la foudre. Les coups de foudre sont classés selon :

- le sens de progression du traceur;
- le signe de la charge qui se décharge.



Remarque : Dans les régions à climat tempéré, il a été observé que 80 à 90 % des coups de foudre sont de type négatif descendant, mais les plus énergétiques sont les positifs. En montagne ou en présence d'une proéminence, des coups négatifs ascendants peuvent se développer. Dans les pays plats, les coups de foudre les plus fréquents sont les descendants négatifs. Pour qu'il y ait un coup de foudre ascendant, il faut la présence d'une proéminence importante, telle qu'une tour élevée.

IV) EFFETS DE LA Foudre

VI.1) Effets thermiques

- Fusion d'éléments au point d'impact ($\approx 30000^{\circ}\text{C}$).
- Risque d'incendie dû à la circulation d'un courant important.

IV.2) Effets électrodynamiques

Lorsque les courants de la foudre circulent dans des conducteurs parallèles, la force magnétique qui en résulte (attraction et répulsion) peut entraîner des déformations mécaniques et même des ruptures.

IV.3) Surtensions directes

L'impact direct sur une ligne électrique ou téléphonique, génère une onde de tension qui se propage. Cette onde, qui est amortie par l'effet couronne et la longueur de la ligne, est coupée soit par l'isolateur à cornes soit par les moyens de protection au poste. Comme le courant de la foudre est rarement inférieur à 10kA, et que l'impédance caractéristique d'une ligne aérienne est environ 300Ω , l'onde de tension atteindra 1500 kV.

IV.4) Surtensions induites (indirectes)

Si la foudre tombe à proximité de la ligne, le courant provoque une variation extrêmement rapide du champ électromagnétique. A cause des ondes électromagnétiques générées par la foudre, des surtensions sont induites dans des conducteurs situés loin du point d'impact. Ses effets se font sentir à plusieurs centaines de mètres, voire plusieurs kilomètres. Les ondes induites sur la ligne sont similaires en forme et en amplitude à celles obtenues par choc de foudre direct. Leur caractéristique principale est leur front très raide (de l'ordre de la microseconde), et leur amortissement très rapide.

IV.5) Montée en potentiel de la prise de terre

Une élévation du potentiel de terre a lieu lorsque le courant de foudre est écoulé par le sol. Cette variation du potentiel de terre touche les installations lorsque l'impact de la foudre au sol est à proximité de leurs prises de terre. Le courant circulant dans la terre peut provoquer la montée en potentiel des équipements par les prises de terre.

IV.6) Effet électrochimique

L'action de la foudre contribue à la création d'ozone (O₃) d'après la réaction chimique suivante :



V) PROTECTION CONTRE LA Foudre

Toutes les protections utilisées contre la foudre consistent à dévier le courant vers la terre. Notons que les perturbations dues aux coups de foudre directs (déclenchement et réenclenchement des disjoncteurs) sont beaucoup plus fréquentes que les dégâts eux-mêmes dont on a appris à se prémunir.

V.1) Paratonnerre

Le Paratonnerre est un conducteur relié à la terre qui présente au sommet une forme pointue. Il est placé sur ou près de l'installation à protéger.

Principe de fonctionnement :

Grâce au pouvoir de pointe, une décharge créée au sommet du paratonnerre progresse à la rencontre et la capture du traceur de la foudre pour dévier le courant vers la terre.

V.2) Eclateur

L'éclateur est généralement placé en parallèle avec l'isolateur, il est formé de deux électrodes-pointes, dont l'une est reliée à la terre et l'autre à l'installation à protéger

Principe de fonctionnement :

Quand l'onde de tension frappe l'installation, la grande surtension qui apparaît aux bornes de l'éclateur produit un arc électrique qui dévie le courant vers la terre, car le courant choisit le chemin le moins résistant

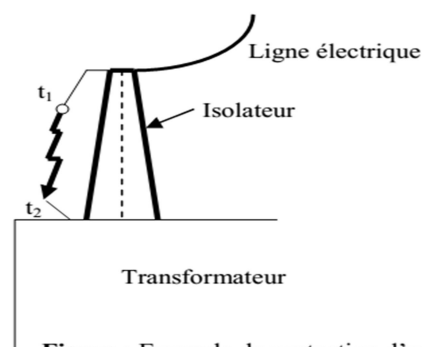


Figure : Exemple de protection d'un Transformateur par éclateur à tiges

V.3) PARAFoudre (Varistance)

Principe de fonctionnement :

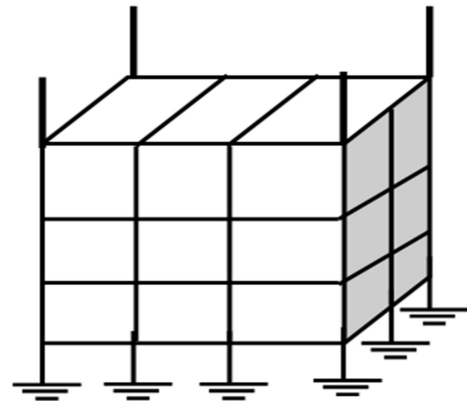
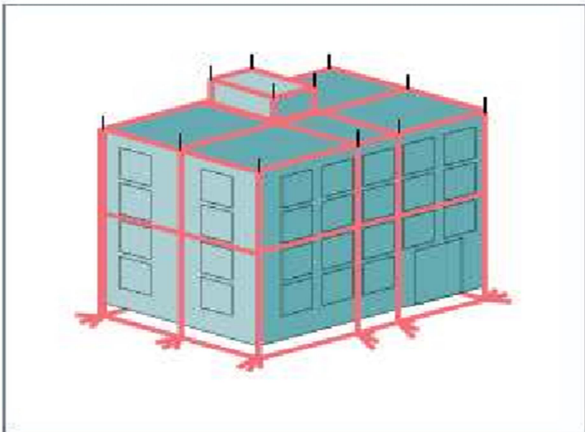
La varistance est une résistance *non linéaire* qui chute considérablement lorsque la tension augmente. En fonctionnement normal en l'absence de surtension, la résistance de la varistance est très élevée et empêche le passage du courant de la ligne vers la terre. Par contre, en régime de surtension la résistance chute subitement pour dévier le courant, et donc la surtension, vers la terre. C'est pratiquement le même principe de fonctionnement que l'éclateur, car dans les deux cas c'est la résistance de l'équipement de protection qui chute : pour l'éclateur grâce au claquage, pour la varistance grâce à la résistance non linéaire

V.4) Câbles de garde

Le câble de garde protège contre la foudre car il est placé juste au-dessus des conducteurs, en cas de coup de foudre c'est lui qui est touché en premier. Après l'impact de la foudre il transfère le courant vers la terre à travers le pylône.

V.5) Cage maillée

Protection utilisée dans les bâtiments (nouveaux) sensibles et importants (Electronique, informatique, militaire...). Le blindage externe protège contre les ondes de la foudre. Ce principe est utilisé pour les bâtiments très sensibles et importants (militaire, tours de contrôle...),



Figure

VII) QUELQUES CHIFFRES

- Entre 2000 et 5000 orages se produisent en permanence autour de la terre ;
- La terre reçoit en moyenne un coup de foudre par seconde ;
- Un million de coups de foudre frappent la France chaque année ;
- Nombre record d'impacts en une journée en France : 74000 le 28 juillet 1994 et 70000 le 5 août 1997.
- 80000 impacts sur les réseaux EDF chaque année.
- Un orage produit une centaine de décharges par seconde.
- La densité moyenne de foudroiement en France est de 2 coups de foudre par km² et par an.
- I_{max} va jusqu'à 200 000 Ampères ;
- La température de l'arc électrique de la foudre est d'environ 30 000°C.
- Une soixantaine de personnes sont foudroyées chaque année en France, dont une quinzaine mortellement foudroyées.
- Courant très fort mais l'énergie insuffisante pour être utilisée, car le coup de foudre est très bref.

Question : est-il intéressant de capter l'énergie apportée par la foudre lors de son impact. **Non** : car malgré que la puissance instantanée de la foudre soit considérable, elle est de durée très brève. L'énergie apportée est donc faible.

En France deux millions de coups de foudre causent chaque année la mort de :

- 40 personnes et de 20 000 animaux ;
- 15 000 incendies ;
- 50 000 coupures sur les réseaux électriques et téléphoniques,
- destruction de nombreux transformateurs et de milliers d'appareils électroménagers.