

## Technique. Les effets de la foudre

Bibliographies: guide foudre ADME; guide EMCFR

Les effets de la Foudre sont multiples et souvent spectaculaires:

Visuels par l'éclair et acoustiques par le tonnerre ; destructeurs. Arrachements des structures par effet électrodynamique et thermique, provoquant fusion et éclatements des matériaux.

Des perturbations moins spectaculaires, dites secondaires, vont être générées et affecter directement le fonctionnement des équipements électriques et électroniques.

Tous les câbles et réseaux filaires, de transport d'énergie ou de données, situés à l'intérieur aussi bien qu'à l'extérieur, peuvent être affectés par des surtensions transitoires d'amplitude très importante. Elles durent généralement entre une micro et une ou deux millisecondes, et s'élèvent à plusieurs kilovolts.

Les modes de couplage sont divers:

- Impacts directs sur les lignes extérieures exposées
- Impacts sur les supports de ligne
- Montée de potentiel de terre

Les surtensions sont induites par :

- Effet électrostatique
- Induction électromagnétique

### **Origine:**

- Essentiellement par la foudre
- Les surtensions sont généralement très énergétiques et de fortes amplitudes, de l'ordre de 2 à 10kV.

La majeure partie des dommages électriques est due aux effets indirects de la foudre.

Il est important de mettre en place des moyens efficaces pour éviter que des surcharges électriques ne viennent endommager les appareils et les installations. La pose des protections doit être établie en respectant les règles fondamentales garantissant le bon fonctionnement des parafoudres.

Autres sources de surtensions que la foudre.

**1) De manœuvre :** Surtensions dont l'amplitude dépasse rarement 1000V.

#### **Origines :**

Ouverture de circuits fortement inductifs  
Variations brusques de charge du réseau

**2) Industrielles :** Surtensions dont l'amplitude peut atteindre 2 à 3kV.

#### **Origines :**

Défaut sur le réseau haute tension affectant le réseau basse tension  
Amorçage au niveau d'un transformateur  
Transfert d'énergie par les prises de terre

**3) Résonances ou parasites :**

Surtensions limitées à proximité des sources et faibles en énergie

#### **Origines :**

Postes de soudures  
Lampes à décharge etc.  
Fours à micro-ondes

## Nuage orageux et champ électrique.

Les cumulo-nimbus (nuages orageux) sont des masses de plusieurs milliers de tonnes d'eau. Ils se forment dans des conditions particulières d'humidité et de température. La base du nuage se trouve à environ 2 km, le sommet peut dépasser les 10 km d'altitude.

Pour en savoir plus : <http://www.meteopayerneouest.com/kesako.php>  
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Foudre>



Entre la base et le sommet du nuage, les fortes différences de température provoquent des courants de convection.

Ces courants d'air ascendants entraînent les particules les plus légères vers le haut. Ces particules se transforment en glace, et se chargent positivement en perdant un ou plusieurs de leurs électrons par frottement. Les particules les plus lourdes descendent et se retrouvent en bas sous forme liquide ; elles sont chargées négativement.

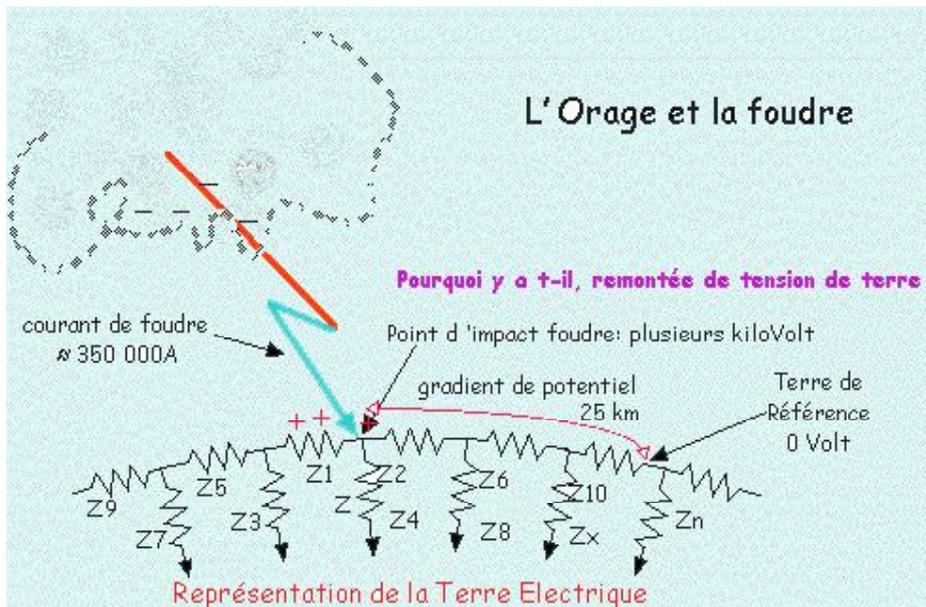
Le bas du nuage, de charge négative, repousse les électrons libres du sol. Celui-ci se charge positivement par influence. La tension entre le nuage et le sol peut atteindre plusieurs dizaines de millions de volts.

En temps normal, le champ électrique entre la haute atmosphère (chargée positivement) et le sol (chargé négativement) est de l'ordre de quelques dizaines de Volts par mètre (V/m).

Lors d'un orage, la polarité de ce champ s'inverse et prend, localement des valeurs voisines de **100 à 200kV/m**.

Il y a apparition d'une différence de potentiel entre ces deux points et il se crée une ionisation de l'air. Le seuil de conduction de l'air est alors atteint, et il peut y avoir une « décharge électrique » sous la forme d'un éclair.

## Courant de Foudre

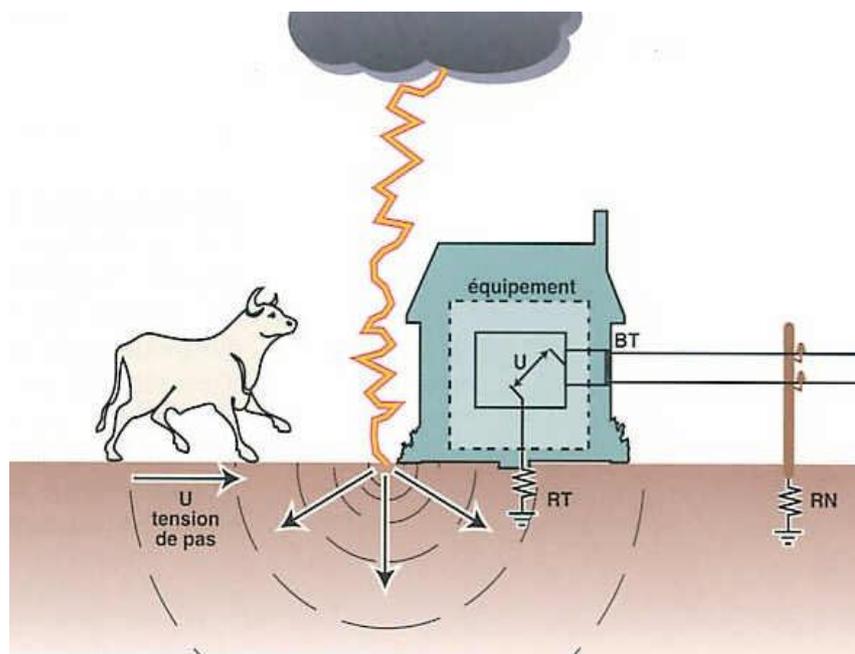


Lors de l'écoulement des charges dans le sol il se produit une élévation du potentiel de la terre de plusieurs milliers de volts (due aux impédances de terre), s'affaiblissant progressivement au fur et à mesure que l'on s'éloigne du point d'impact pour tendre vers 0 Volt à 25 km.

Ce phénomène est bien connu. Il provoque des électrisations, ou électrocutions de personnes ou d'animaux par la tension de pas ou potentiel d'enjambement.

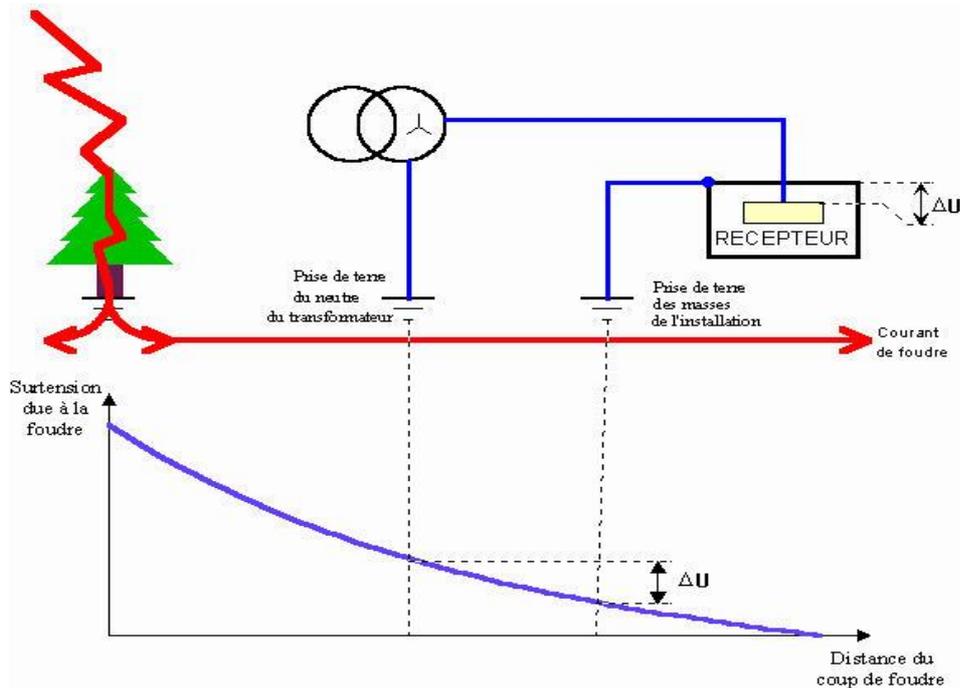
Un des pieds au contact du sol est plus proche que l'autre du point d'impact. Dans ce cas, il apparaît entre les deux jambes de la victime un potentiel dangereux (par différence de tension électrique).

Le courant est susceptible de pénétrer dans une jambe puis de ressortir par l'autre. Cette variété de fulguration peut atteindre plusieurs personnes à la fois.



Montée en potentiel des terres.

Dans un local, le processus est le même. Les charges électriques entrent par un point de terre et cherchent une sortie : par le réseau électrique ou par un autre type de point de terre (canalisation de gaz, d'eau etc.). C'est ce que l'on appelle la "remontée de terre".



Une décharge de foudre a 2 caractéristiques essentielles :

- 1) Le niveau du courant de choc, en général très élevé.
- 2) La vitesse de montée du courant, en général très grande ( $di/dt$ )

Conséquence : l'impédance globale de la connexion de terre devient capitale.

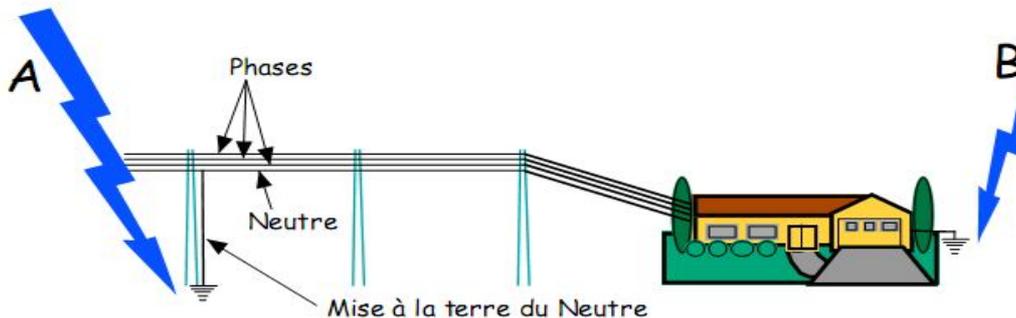
Supposons un impact sur un support de ligne moyenne tension (8-16 kV) :

- Résistance de la terre:  $R_t = 10\Omega$
- Inductance des fils de liaison à la terre :  $L = 10\mu H$  (pour une longueur de câble de 10 à 15m)
- Courant circulant dans le circuit de terre lors de l'impact :  $I_{Crête}$ : 50kA
- Temps de montée :  $2\mu s$
- La tension au point de terre sera:  $U_t = R_t * I_{Crête} = 500kV$
- La tension au support de ligne sera:  $U_{sup} = U_t + L * d I_{Crête} / dt = 750kV$

L'effet Corona (effluves) limite la montée aux environs de 250 à 500kV.  
Puis l'effet de contournement des isolateurs aux environs 150 kV.

Les surtensions peuvent apparaître suivant 3 cas de figure :

1. Entre les conducteurs actifs : elles sont dites de mode différentiel et sont particulièrement dangereuses pour les circuits électroniques
2. Entre les parties actives et la terre : elles sont dites de mode commun et sont dangereuses pour les circuits présentant une liaison à la terre
3. Par élévation du potentiel de terre : elles sont dangereuses pour tous les types de matériels.



L-> Phase, N-> Neutre, PE-> terre.

Si l'éclair « A » frappe le sol à une distance assez grande (200m à 2km), le potentiel de terre à l'endroit de l'impact monte,, et du fait des liaisons Neutre/Terre celui du neutre monte pratiquement dans les mêmes proportions.

Les matériels du local distant de l'impact seront sollicités entre N/PE mais aussi entre L/N (à distance, du fait de l'inductance de ligne non négligeable, le neutre se dissocie de la terre sur un impact foudre), avec des surtensions assez modérées, de l'ordre de 1000V à 3000V et des courants de foudre  $I_{imp}$  associés de 200 à 3000A (onde de durée 10 à 350 $\mu$ s) pouvant atteindre 1000 Joules au total dans le parafoudre.

Si l'éclair « B » frappe le sol à proximité du local (mais pas directement dessus), le potentiel de terre monte seul car la liaison Terre - Neutre est suffisamment lointaine pour que l'inductance de ligne (proportionnelle à la longueur de fil) rende les connections indépendantes les unes des autres lors d'un impact.

Ainsi la tension terre neutre prend la valeur :  $V = -L \cdot di/dt$ , avec  $L(H) = 1e-6 \cdot \text{longueur (mètres)}$ ,  $di(A) = 5000$  environ,  $dt(\mu s) = 125$  environ, ce qui pour une de liaison N/PE située à 150m de distance donne une variation de tension de près de 5000V (3000 à 7000V possibles), et des courants de foudre associés de 2000 à 9000A (pendant 10 à 350 $\mu$ s) peuvent être véhiculés.

Les matériels sont exposés à des surtensions entre Terre et Neutre et entre Terre et Phase(s) mais surtout dans ce sens (de la terre vers les autres pôles). Environ 2700 Joules au total dans le parafoudre.

Il faut faire attention à bien définir comment on veut protéger et donc entre quelles connexions les éléments para-surtenseurs doivent être positionnés.

- Mode commun
- Mode différentiel
- Modes commun et différentiel

Tout cela conditionne la bonne ou la mauvaise protection des matériels.

Il est aussi impératif de prendre en compte les courants de remontée de terre.

Quantification des courants de foudre entrant dans un local :

- 16% arrivent par les lignes d'arrivée d'énergie
- 9% viennent par les lignes de téléphonie
- 75% arrivent par les différents réseaux qui forment la terre (puits de terre, canalisation d'eau, de gaz, ceinture d'équipotentialité, etc.)

De plus vous devez choisir l'Up du parafoudre.

Valeur pratique réaliste: 1,5kV en monophasé ou 1,5kV L ou N vers PE + 2kV L/L en triphasé. Choisir aussi In, Inom, Iimp par branche, et le type.

L'ensemble de toutes ces indications permet d'avoir un parafoudre plus en accord avec la nécessité de protection des matériels.

Demander un parafoudre de 65kA pour une installation (par exemple) ne veut strictement rien dire, car on ne sait rien sur l'Up, ni sur la répartition des protections, ni sur ses capacités à traiter des impulsions énergétiques.

Lors d'un impact foudre, les éléments conducteurs situés dans le champ électromagnétique généré par la foudre sont le siège de courants induits. Le niveau de surtension est d'autant plus grand que la distance du point d'impact est faible et le  $di/dt$  est élevé.

Adapter le niveau de protection au risque réel demande une expérience professionnelle certaine...