

Il y a de l'électricité dans l'air...

Comprendre la foudre pour mieux s'en prémunir

Yves Savoye-Peysson

Physicien

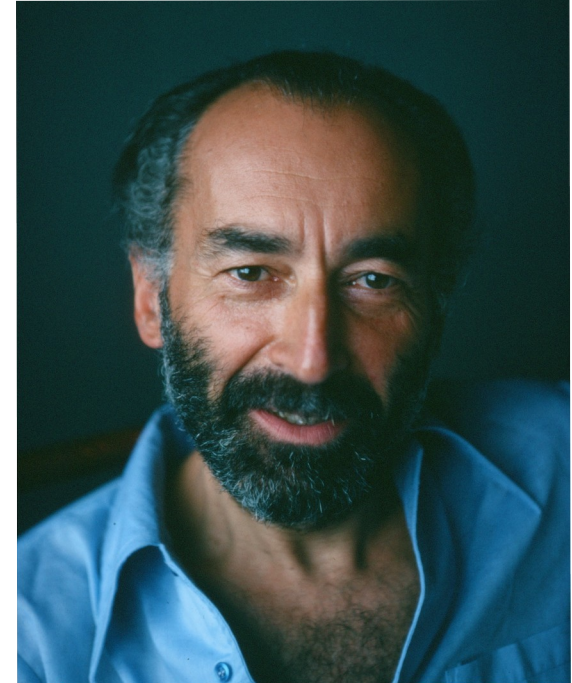
Comité Scientifique de la F.F.C.A.M.

Mail : perso@yvespeysson.fr

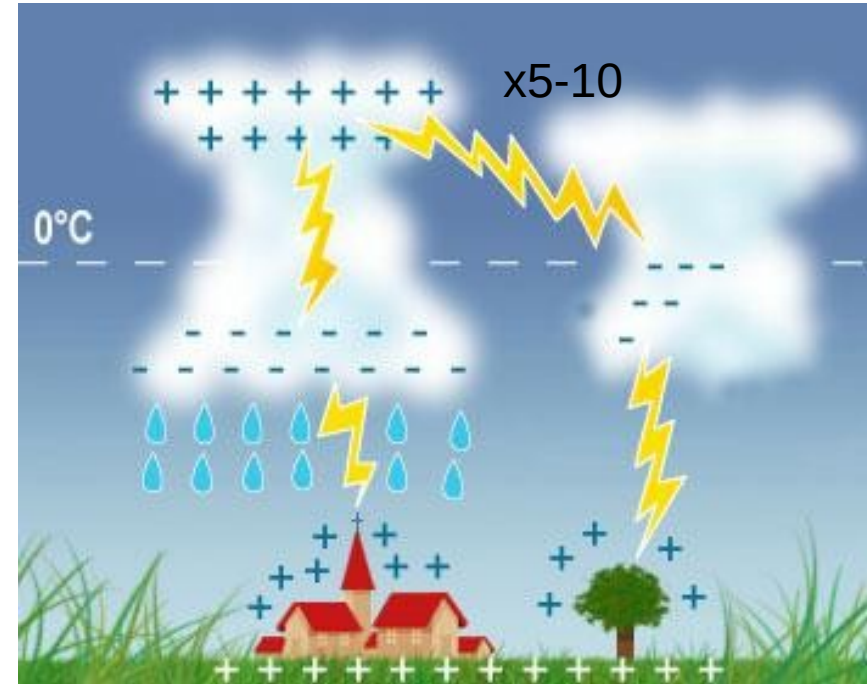
18/12/2024



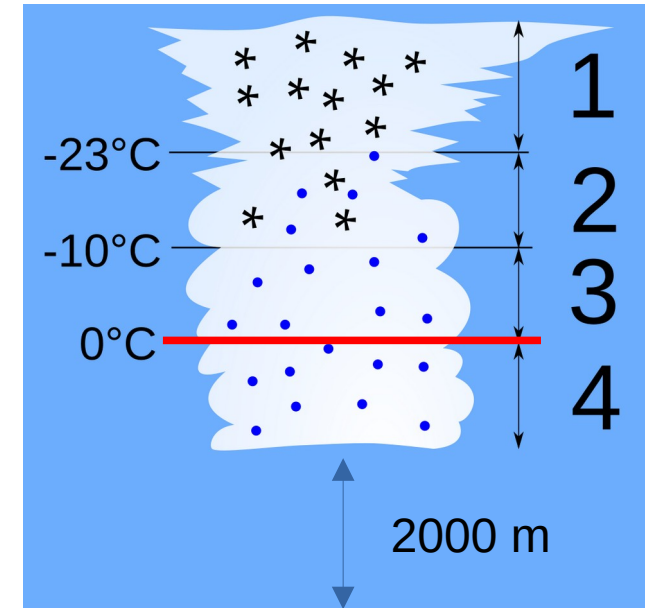
- Hommage à **Jacques Malbos**, mon prédécesseur au Comité Scientifique, qui organisa un congrès international sur la foudre en montagne à Chamonix, en 1994, dans le cadre d'une collaboration entre SEE et le CAF sous le haut patronage de l'UNESCO.
- Suite à ce congrès, une plaquette dédiée aux « **Accidents de la foudre en montagne, conduite à tenir et prévention** » a été rédigée notamment par le Dr. Jean-Pierre Herry (ENSA, Comité Scientifique CAF). Elle est fournie avec *La Montagne & Alpinisme n°1/1995*.



- La foudre atmosphérique est une décharge électrique soudaine qui prend la forme d'une gigantesque étincelle entre deux régions chargées électriquement.
- C'est un tube de courant dans l'air – un arc électrique - par lequel s'écoulent les charges électriques qui se sont accumulées.
- C'est un phénomène naturel et universel qui n'est pas spécifique à la planète Terre. On a observé la foudre sur Jupiter, Saturne, Neptune et Uranus.
- Pour qu'une décharge électrique se produise, l'intérieur du nuage doit comporter un champ électrique important, qui provient du changement de la répartition des charges, électrisant le nuage : électrification de l'air



- L'électrification de l'air est un préalable à l'existence de la foudre. Elle n'existe presque pas sans mouvement important de convection verticale (cumulonimbus)
- Les mécanismes d'électrification de l'air sont encore mal connus, et dépendent de la nature du milieu et de son état : air sec ou humide, chargé ou non de poussières ou de cristaux de glace, présence d'un gaz radioactif comme le radon à proximité d'un volcan, température, intensité de la convection verticale,...
- Il faut comprendre les conditions de formation d'un nuage : l'air en s'élevant, du fait de la diminution progressive de pression, se détend et se refroidit tant et si bien que le point de rosée (condensation de l'eau) finit par atteindre la température de l'environnement. Un nuage se forme alors. Le rôle des poussières est très important pour la condensation.



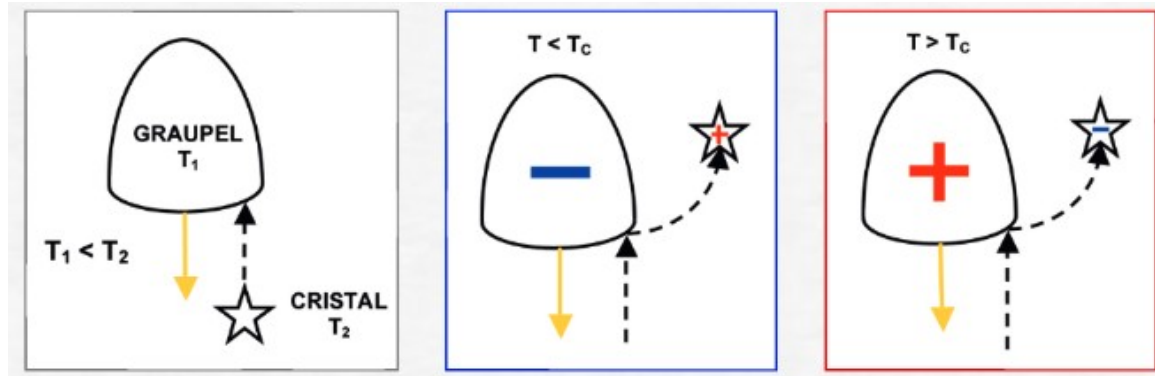
1) Cristaux de glace

2) Neige et gouttelettes surfondues (dominé par l'effet Bergeron)

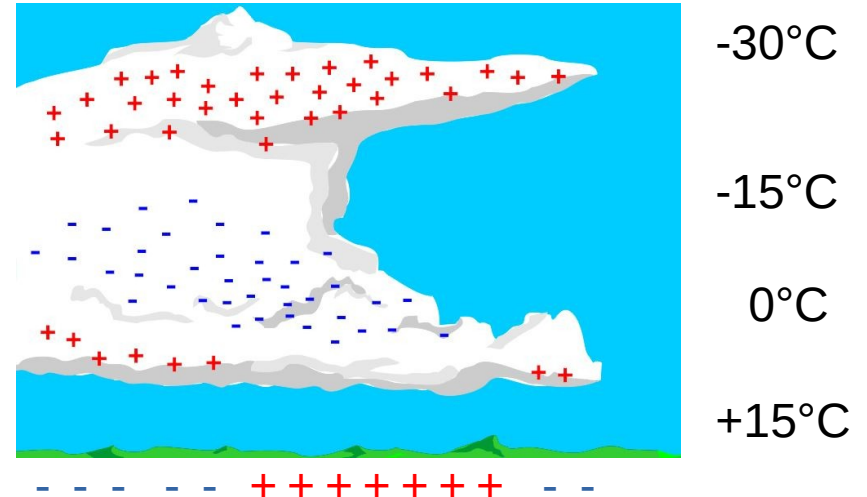
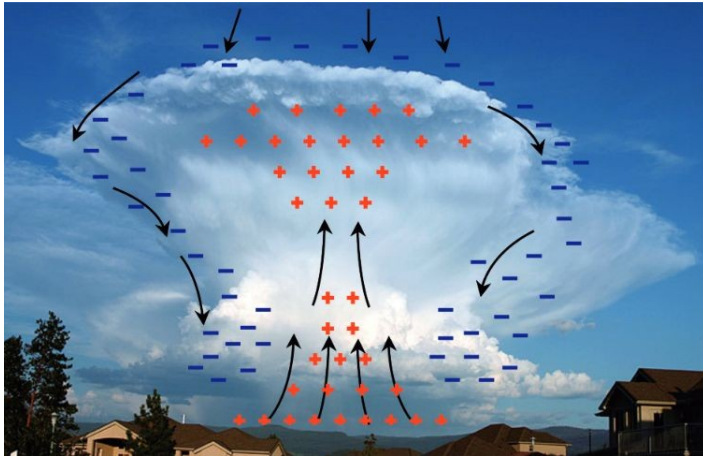
3) Gouttelettes surfondues (dominé par la coalescence)

4) Gouttelettes de pluie

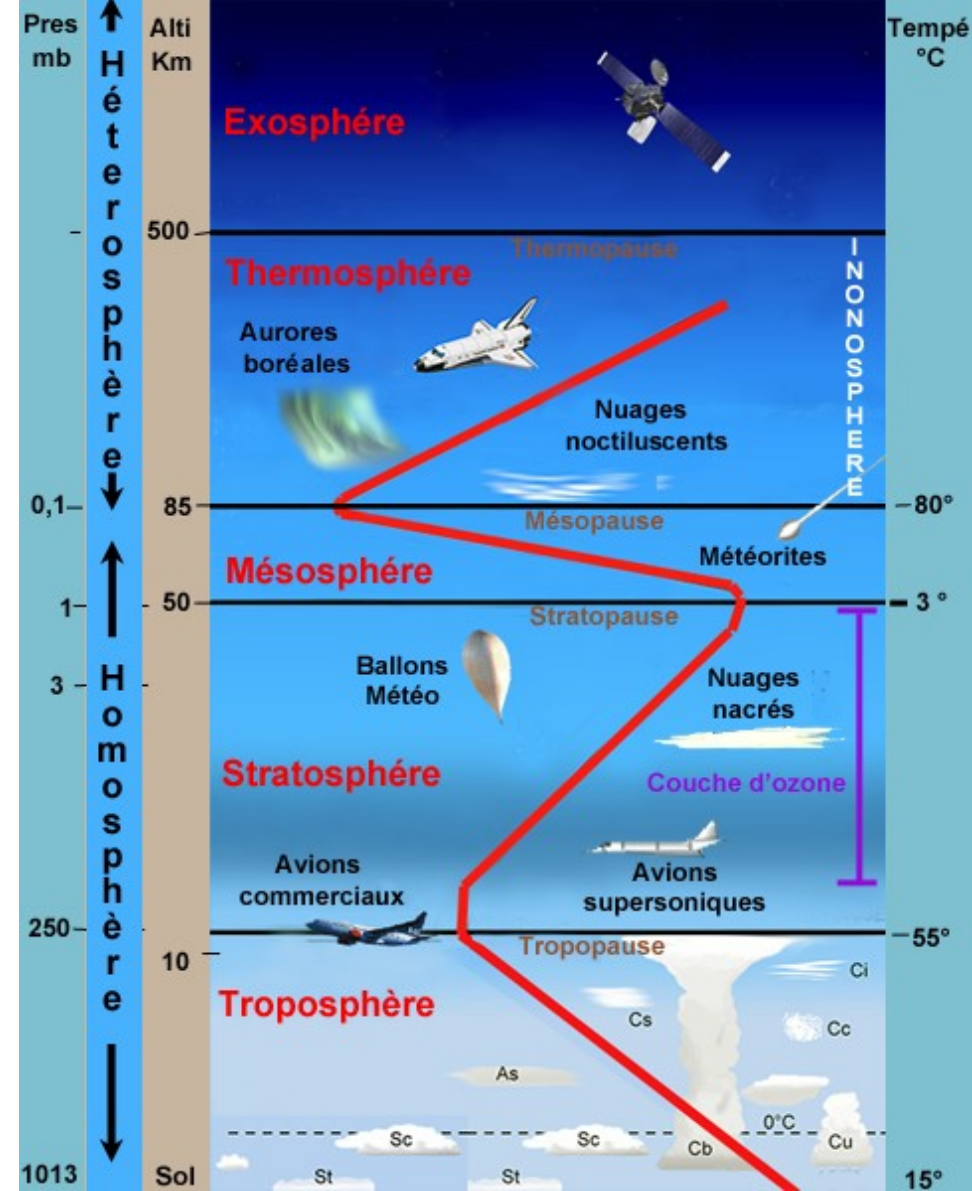
- L'électrification de l'air résulte de trois principaux mécanismes : 1) **les collisions entre la neige roulée (*graupel*) qui tombe à une vitesse de $\sim 1\text{m/s}$ et les cristaux de glace en quasi-suspension**, 2) les chocs inductifs, renforçant le mécanisme précédent et 3) la convection verticale brassant les particules chargées et favorisant leurs séparations.
- La situation est compliquée par l'existence d'une température T_c d'inversion de polarité qui dépend de la quantité d'eau liquide surfondue dans le nuage : lorsque la température est très basse dans la partie haute du nuage ($T < T_c$), le graupel acquiert une charge négative, et le cristal une charge positive. L'inverse se produit à température plus élevée ($T > T_c$) dans la partie basse du nuage.



- Les nuages deviennent alors des structures électriques **tripolaires**, c'est-à-dire constitués de trois zones différentes de charges, dont la répartition est en accord avec le modèle de Wilson (*prix Nobel de physique en 1927, chambre à brouillard*).
- Une zone située à la base du nuage chargée positivement de quelques coulombs, une zone centrale du nuage vers 5 km, chargée négativement et épaisse quelques centaines de mètres au plus, et enfin le sommet du nuage, situé à une altitude pouvant atteindre 10-12 km, chargé positivement. **La polarisation du nuage est à la source du champ électrique provoquant la foudre.**

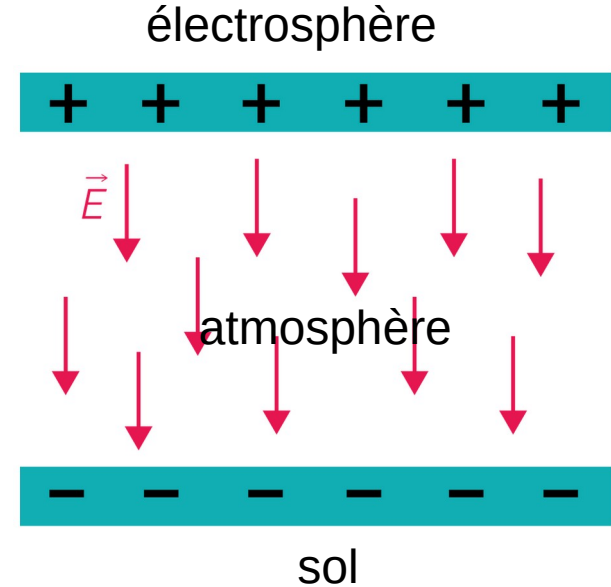


- La structure verticale de l'atmosphère est composée de couches aux propriétés physiques différentes.
- Les nuages ne dépassent jamais la **tropopause** (17 km à l'équateur, 9 km aux pôles) : les nuages d'orage à fort développement vertical ont une forme d'enclume car le mouvement vertical est bloqué au-delà. L'air dans la **troposphère** est un très bon isolant électrique.
- La tropopause est une limite infranchissable pour les nuages en raison de l'**inversion du gradient de température** (création de l'ozone).
- L'**ionosphère** commence vers 50-60 km d'altitude, et correspond à la couche ionisée par les UV solaire. Elle est conductrice de l'électricité et chargée positivement.

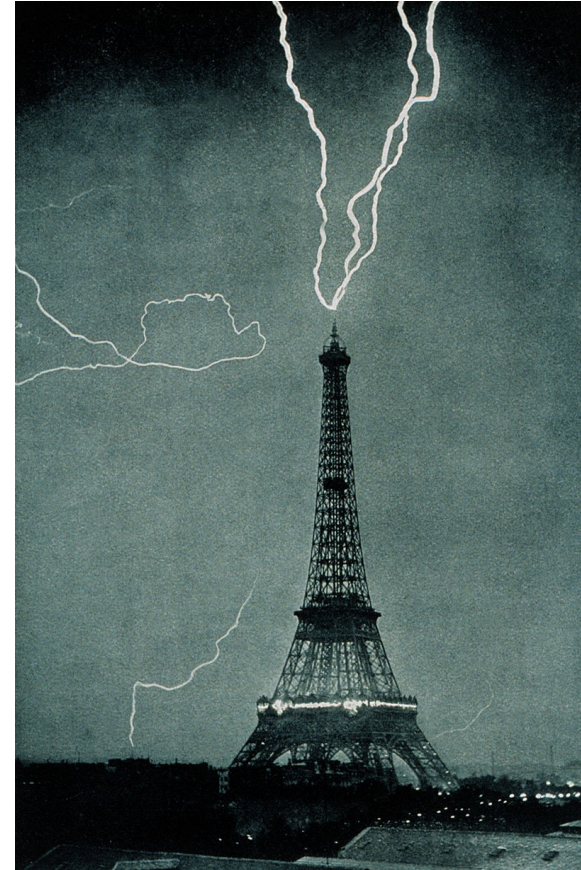


- La Terre est un gigantesque condensateur électrique qui peut être assimilé à un système plan formé par l'ionosphère à +50 km (**électrosphère**) et le sol.
- Sous l'action du **vent solaire et des UV**, la couche supérieure de l'atmosphère est ionisée positivement, les atomes neutres perdant un ou plusieurs électrons. Elle forme une couche conductrice presque parfaite (quasi-métal, équipotentielle).
- La densité surfacique moyenne de charges de l'électrosphère mesurée a pour valeur $\sigma = 1.1 \text{ nC/m}^2$ soit une charge totale de 600 kC.
- Champ électrique moyen entre l'électrosphère et le sol vaut alors $E = \sigma/\epsilon_0$ où $\epsilon_0 = 8.854 \text{ pF/m}$ est la permittivité électrique du vide.

$$E = 130 \text{ V/m}$$

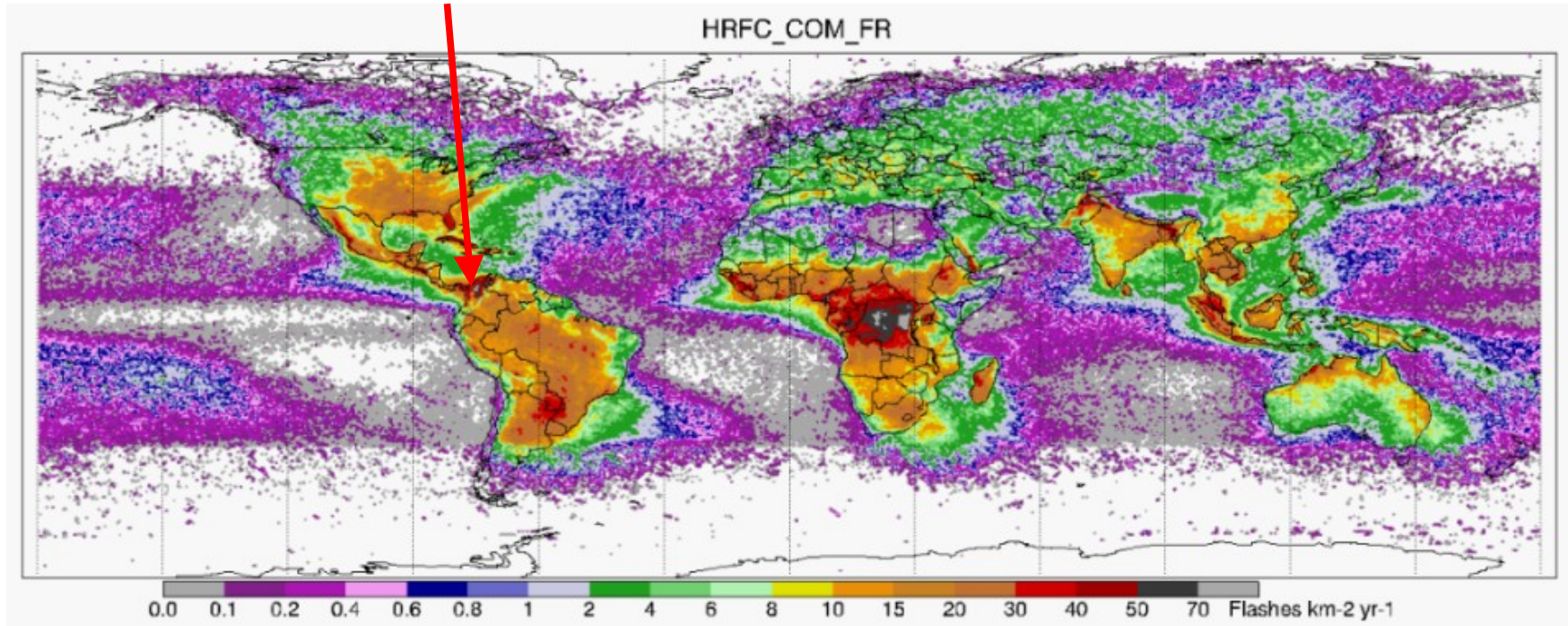


- La densité de charge dans l'ionosphère reste constante malgré la présence permanente du vent solaire et du rayonnement UV : les charges électriques dans l'ionosphère doivent donc être évacuées de façon continue vers le sol.
- La différence de tension entre l'électrosphère et le sol est de $50.000 \times 130 = 6.5 \text{ MV}$. La tension de claquage de l'air sec étant de 3 MV, un courant de fuite très faible peut s'établir.
- La densité surfacique moyenne du courant de décharge mesurée au niveau du sol valant $I/S = 3,5 \text{ pA/m}^2$, le courant total I permanent correspondant à la variation de charge dans l'électrosphère, vaut 1800 A environ. Chaque coup de foudre transportant une charge électrique de 20 C, **il y a donc à chaque instant 90 éclairs par seconde sur Terre.**
- Comme il y a en moyenne un coup de foudre toutes les 10 secondes dans un orage, le nombre permanent d'orages sur Terre est de l'ordre de 1000. Sans les orages, la vie serait impossible sur Terre.



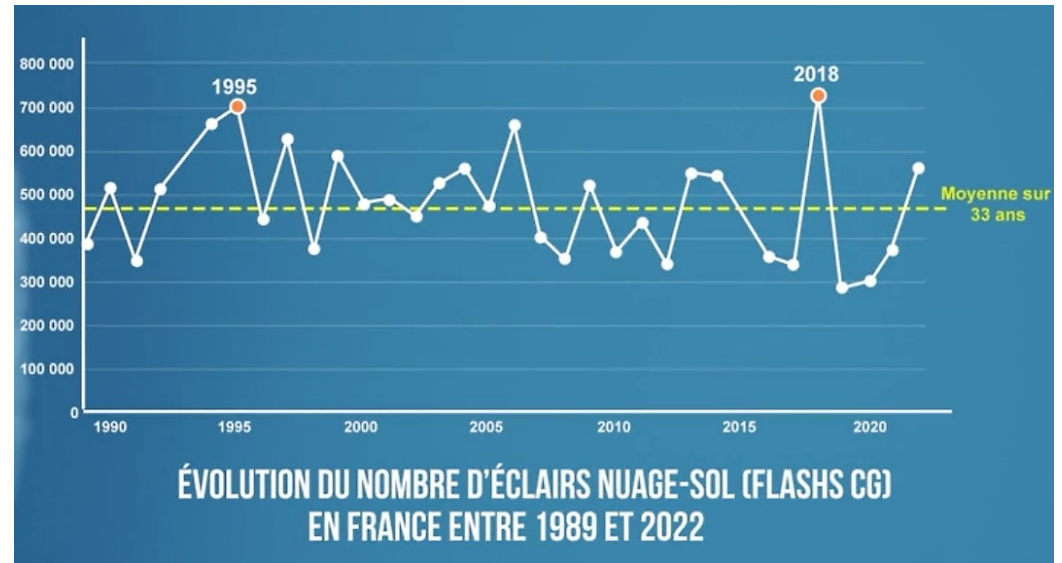
Tour Eiffel, 1902

- La foudre tombe au sol 2.8 milliards de fois par an dans le monde ($90 \times 3600 \times 24 \times 365$).
- Répartition très inhomogène. Maximum vers l'équateur (tropopause est la plus élevée)
- Maximum observé : **lac Maracaibo** au Vénézuéla avec 233 impacts par km² et par an

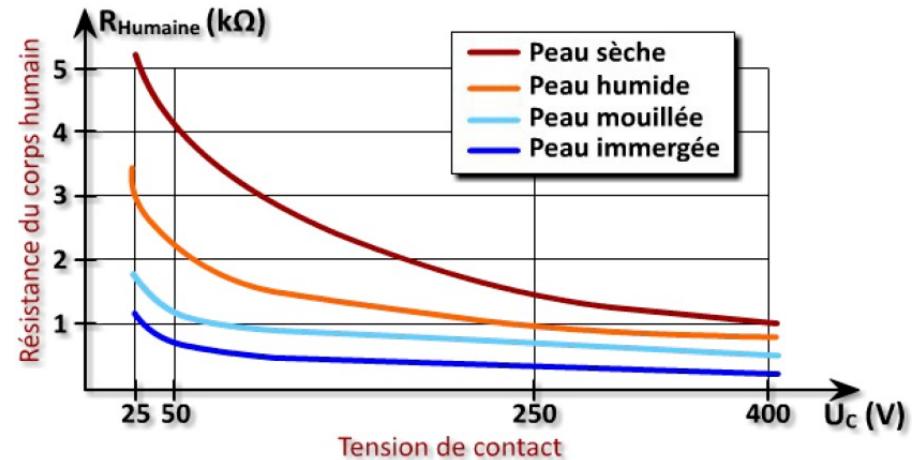


Nombre d'impacts de foudre moyen par km² et par année (définition 0,5° / données ODT et LIS / détermination optique assistée par satellite 1995-2010. (© Rachel et al. (2016))

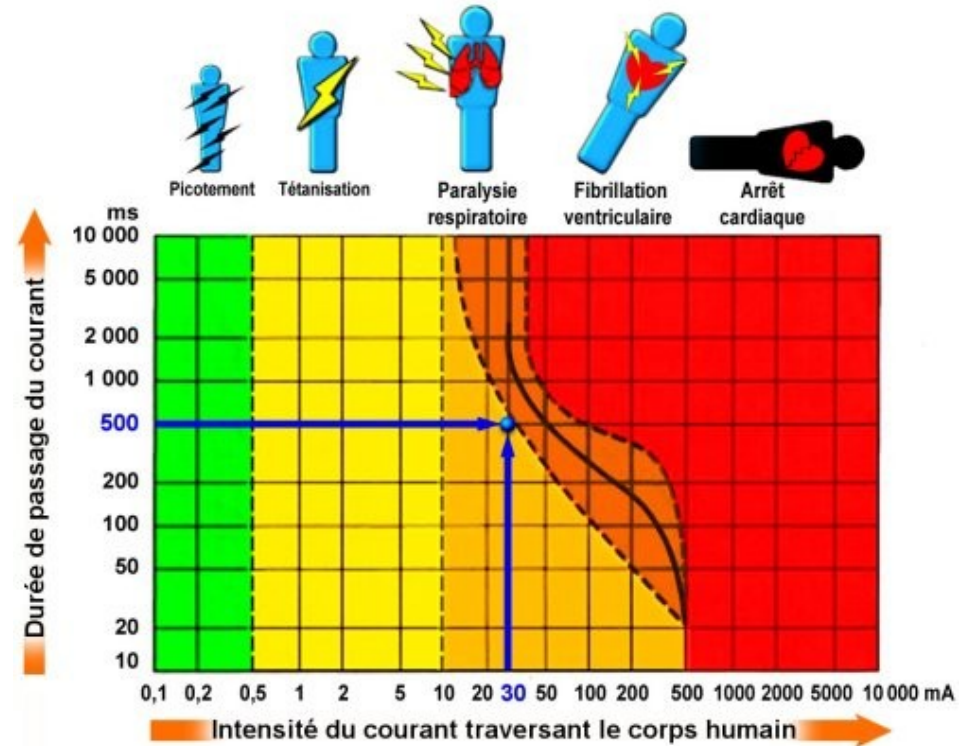
- Le nombre d'impacts de foudre est-il susceptible d'augmenter avec le réchauffement climatique ?
- Le nombre d'impacts de foudre sur Terre est un processus électrique global impliquant l'ionosphère, loin de la troposphère. Les propriétés de l'ionosphère sont donc insensibles aux conditions de l'atmosphère à plus basse altitude.
- La surface des orages est négligeable par rapport à celle de la Terre.
- **Le nombre d'impacts de foudre doit donc être approximativement constant.** (confirmé par l'observation).
- *Le nombre d'impacts de foudre devrait plutôt être affecté par l'activité solaire.*



- Pour un humain dont la taille est de 1.80 m, la différence de potentiel est a priori de 230 V entre le sommet de sa tête et ses pieds.
- Le corps humain se comporte comme un semi-conducteur ; la résistance électrique de son corps varie avec la tension appliquée, mais aussi l'état de sa peau (sèche ou humide).
- Pour 230 V, $R < 2 \text{ k}\Omega$, le corps humain est donc assez bon conducteur : il déforme donc les lignes équipotentielles du champ électrique atmosphérique.
- Il ne peut donc pas être le siège d'une électrisation car le potentiel électrique du corps est uniforme et proche de celui du sol. Il n'y a pas ou très peu de charges électriques qui s'accumulent.

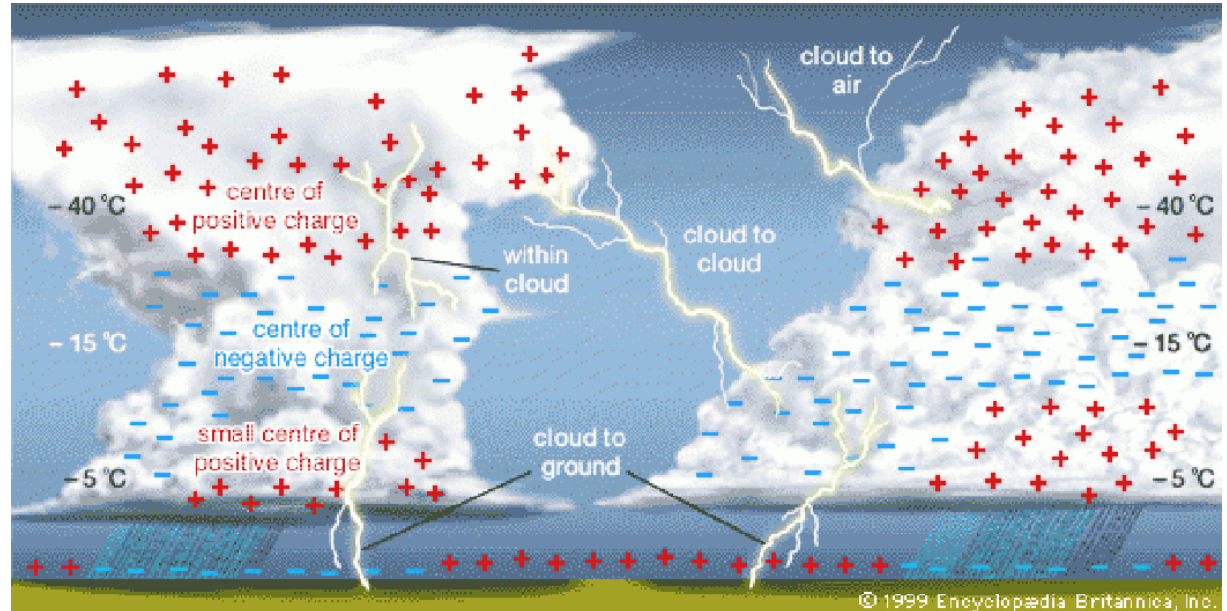


- Le courant électrique traversant le corps peut constituer un risque mortel par électrocution !
- Le facteur principal étant le niveau du courant I et la durée, **le risque est donc lié à la quantité de charges traversant le corps humain** : $Q = I \times \Delta t$.
- **Une tension très élevée, quelques dizaines de kV, n'est pas nécessairement mortelle !** Tout dépend de la quantité de charges électriques en jeu. Sinon, on serait électrocuté en enlevant un pull-over, en descendant de la voiture, en caressant son chat ou en se peignant !!
- **La foudre présente en revanche un risque mortel** vu le niveau de courant en jeu et la durée de la décharge !

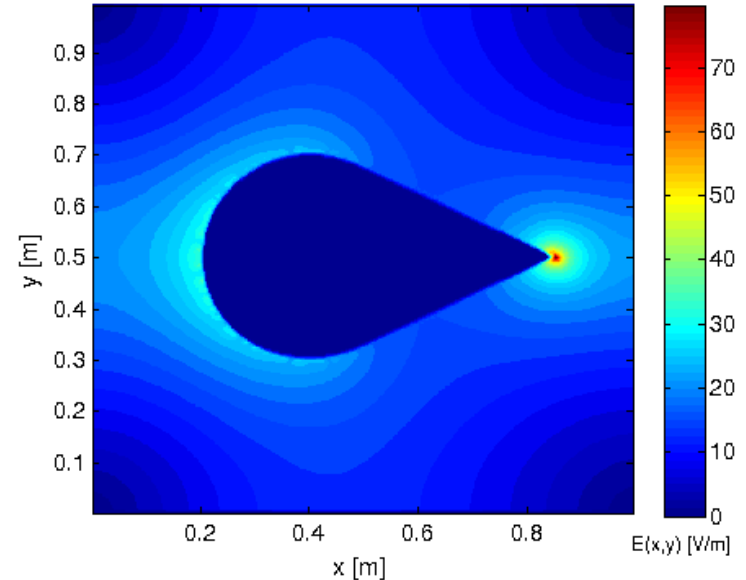


- La foudre atmosphérique prend naissance au sein d'un nuage à forte convection verticale, le nuage et le sol formant localement un nouveau condensateur électrique.
- La séparation et l'accumulation des charges dans le nuage modifie localement la polarité du sol.
- Des **effets physiques potentiellement précurseurs de la foudre** indiquent que des molécules de l'air commencent à être excitées ou mêmes ionisés. C'est le signe d'un champ électrique élevé.

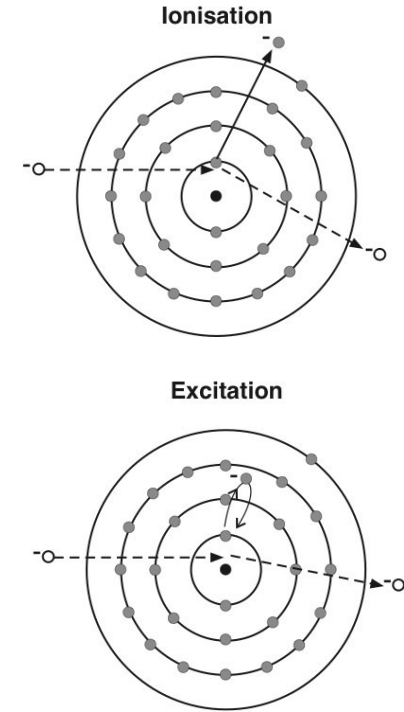
- **Effet de pointe**
- **Effet « couronne »**



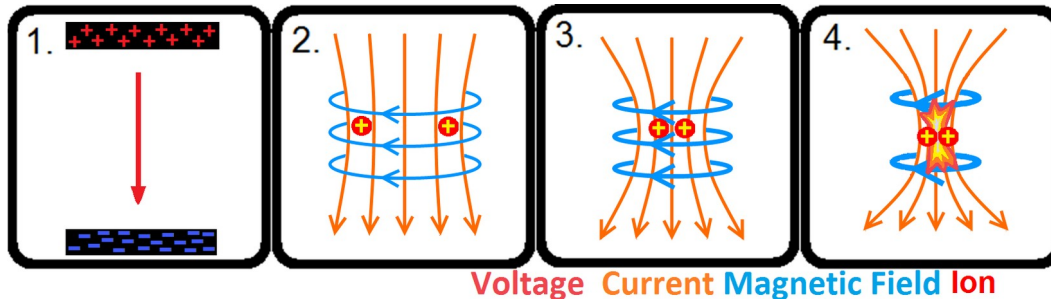
- **L'effet de pointe joue un rôle majeur** pour le déclenchement des impacts de foudre mais également s'en prémunir. A prendre en compte pour les règles de protection individuelle et des biens : **paratonnerre**.
- Ce phénomène vient du fait que la somme des charges contenues sur une surface sphérique soumise à un potentiel V croît linéairement en fonction du rayon alors même que le champ électrique, lui, croît en fonction de l'inverse du carré de la distance (effet topologique).
- Le champ électrique très important va contribuer à l'excitation et l'ionisation de l'air et ainsi qu'à l'amorçage d'un éventuel arc électrique (foudre) en créant une zone de moindre résistance électrique dans l'air.
- C'est pour cela que la foudre tombe principalement sur des objets pointus (clochers, paratonnerres, arbres, sommets, personne au milieu d'un espace plat,...)



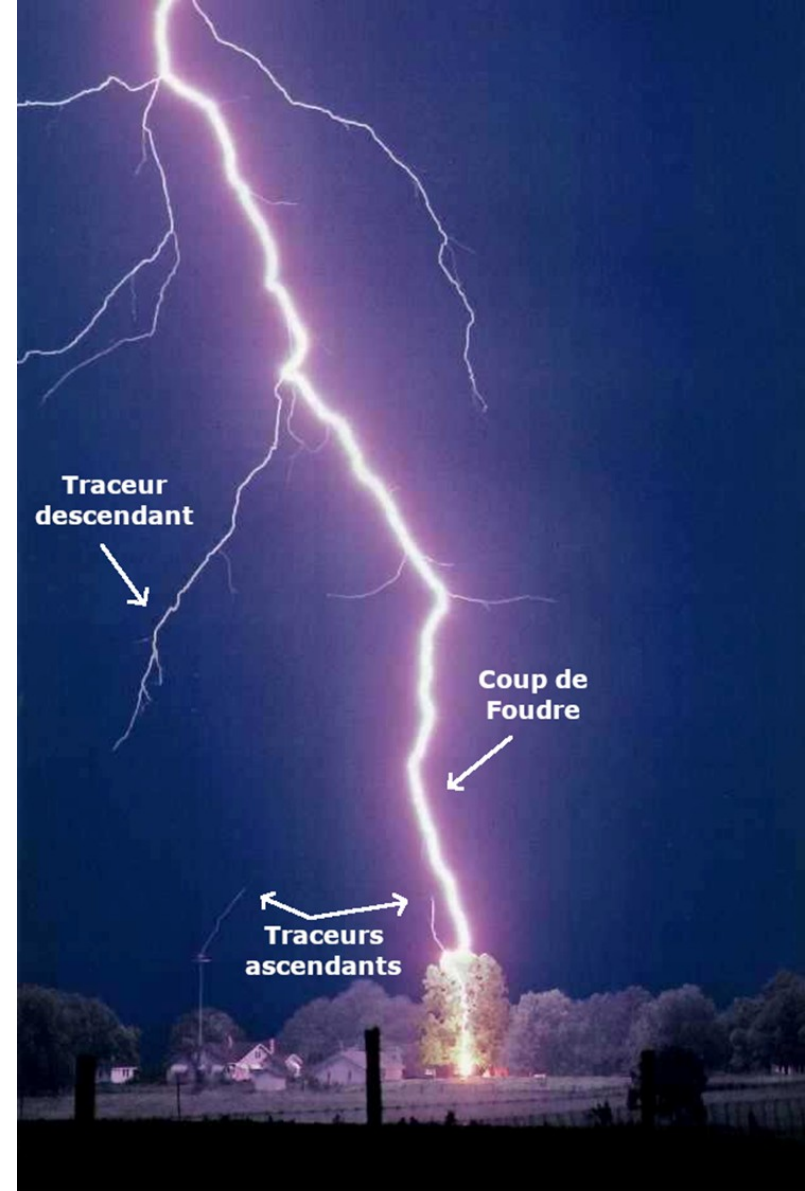
- L'effet « **couronne** » indique qu'un nombre significatif de molécules d'air sont **excitées ou ionisées** suite à la présence d'un champ électrique élevé localement.
- Les **feux de la Sainte-Elme** ou le crépitement de l'air dénommé « **bourdonnement des abeilles** » près d'un sommet (comme au voisinage d'une ligne électrique à très haute tension) correspondent au même phénomène. Le bruit, qui est analogue au tonnerre, résulte de micro-arcs électriques locaux.
- En présence de charges électriques « libres », la résistance électrique de l'air baisse, et l'air n'étant plus isolant, c'est un canal privilégié pour l'écoulement des charges, donc de la foudre.
- L'effet « couronne » est présent au voisinage des zones à fort champ électrique (sommet, clocher, arbre, paratonnerre,...)



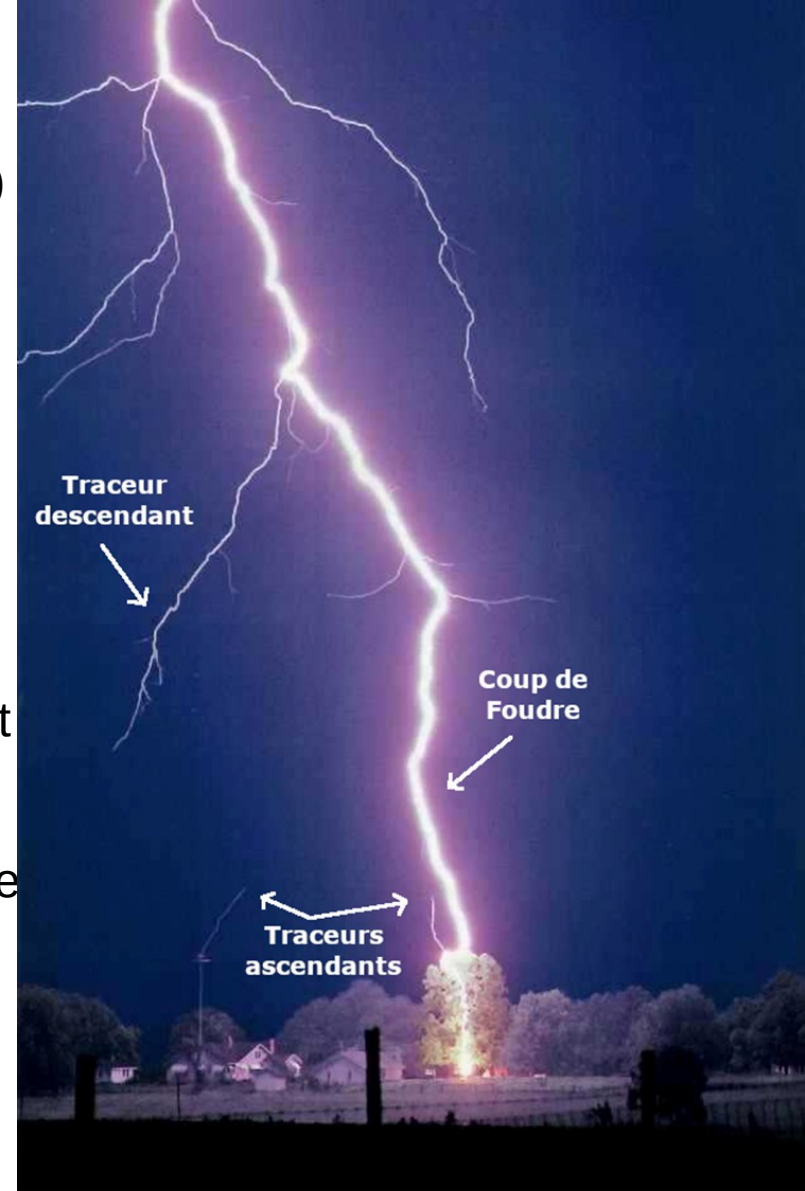
- La foudre est un tube de **plasma auto-confiné** magnétiquement (**Z-pinch**). *Le concept est considéré pour maîtriser la fusion thermonucléaire.*
- L'auto-confinement produit une striction transversale au courant qui compense la force d'éclatement du plasma résultant du brutal échauffement du milieu par le passage du courant électrique (loi d'Ohm), qui cause le tonnerre.
- Le foudre est un tube de courant dont le diamètre est de 3-5 cm seulement. Un halo de lumière de quelques dizaines de centimètres entoure le tube de plasma. La loi de Bennet décrit le quasi-équilibre magnétique de la décharge.



- Le tube de plasma est très bon conducteur alors que l'air est un excellent isolant : $1.0 \text{ P}\Omega\cdot\text{m}$.
- Le courant dans le plasma chauffe celui-ci et réduit sa résistance électrique favorisant ainsi le passage du courant lui-même dans un environnement très isolant : effet boule de neige → **traceur par bonds**.
- La trajectoire de la foudre est une marche aléatoire pour trouver le meilleur chemin dans l'atmosphère, celui ayant la moins grande résistance électrique.
- Le **canal de charges ou traceur par bonds** fait son chemin vers le sol par bonds successifs d'une longueur variant approximativement entre 50 et 100 mètres chacun.
- Un éclair peut faire entre 100 mètres et 20 kilomètres de long. Sa vitesse de propagation est de l'ordre de 40.000 km/s (moins que la lumière mais bien plus que le son : 0.3 km/s)

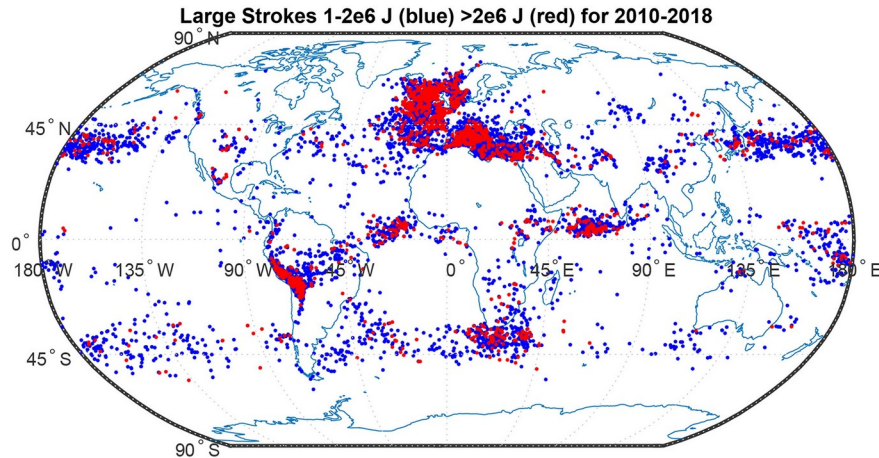


- L'intensité des éclairs est de l'ordre de 20-100kA, et la différence de potentiel peut atteindre 20-100 MV.
- Puissance : bien plus celle d'une centrale nucléaire (GW)
- Durée moyenne d'un traceur : 30 ms
- Durée moyenne d'un éclair (décharge totale) : 100 à 600 ms
- Nombre moyen de traceurs lors d'un éclair : 2 à 10
- Énergie libérée moyenne lors de la décharge totale : 300 kWh, entraînant l'échauffement du traceur.
- Consommation électrique annuelle famille : 3000 kWh.
- Température moyenne de l'éclair : 30000°C soit 3 eV correspondant à un plasma très froid !
- Un coup de foudre correspond en moyenne à un transfert de charge de 15 à 70 C entre la terre et le nuage.
- Le canal ionisé n'obéit pas à la loi d'Ohm : la relation entre l'intensité du courant qui le traverse I et la différence de potentiel V dont il est le siège suit une loi du type : $I = aV^{3/2}$ (analogue à celle de Child-Langmuir)
- **Comment calculer la distance qui vous sépare d'un éclair ? compter 3 secondes pour un kilomètre.**



Il existe d'autres types de foudre :

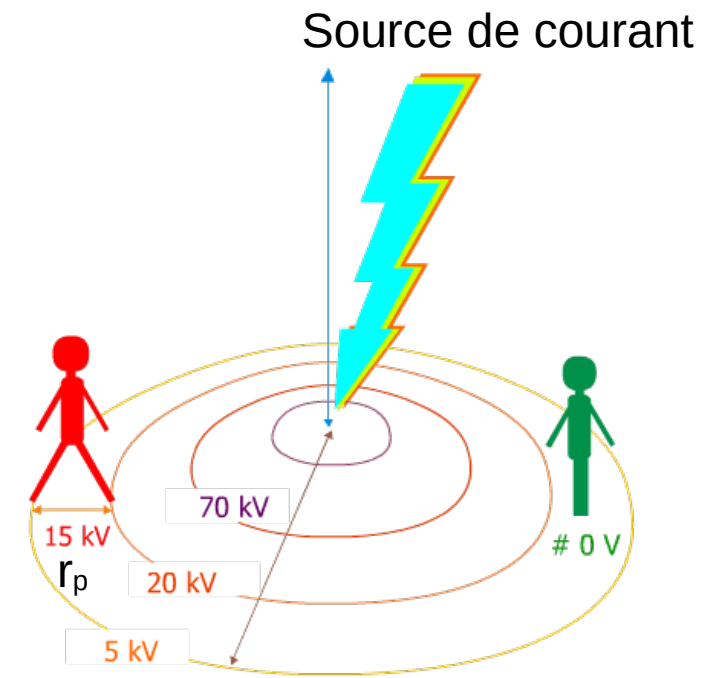
- *Foudre noire* (rayonnement gamma). La foudre produit de l'antimatière !
- *Foudre en boule* (très rare)
- *Foudre « superbolt »* 100-300 kA, principalement hiver, au-dessus de l'eau
- *Foudre des volcans* liée au radon émis qui est ionisant (radioactif)



Martin Rietze | Éruption du Sinabung (Indonésie), 2014

- **La tension de pas** est celle qui se développe entre les points de contact au sol (pieds d'une personne ou pattes d'un animal) au voisinage du point d'impact de la foudre.
- La tension de pas est donnée par la formule :

$$U(r) = \rho I_F / (2\pi R) r_p / (R + r_p)$$
 où r_p est la distance d'un pas en mètre, R la distance à l'impact de la foudre, ρ la résistivité du sol, et I_F le courant de l'éclair.
- La résistivité du sol ρ varie beaucoup selon le type.
- Pour un courant de foudre $I_F = 40$ kA, un pas $r_p = 0.8$ m, et une distance $R = 20$ m, $\rho = 200$ $\Omega \cdot m$ et une résistance du corps de 1 k Ω , le courant le traversant vaut 3040 mA, donc mortel. Pire sur le calcaire et le granite.
- **Pour éviter le danger, il faut coller les pieds : $p = 0$.**



Sol	Résistivité moyenne ($\Omega \cdot m$)
Tourbe humide	25 (5-100)
Limon	50 (20-100)
Marnes	150 (40-200)
Schistes	200 (50-300)
Sable argileux	250 (50-500)
Calcaire tendre	400 (50-800)
Granite et grès altérés	800 (100-1 500)
Sable siliceux	1 500 (200-3 000)
Sol pierreux nu	2 000 (1 500-3 000)
Calcaires compacts	2 500 (800-5 000)
Granite et grès peu fissurés	5 000 (1 500-12 000)

Comment se prémunir des risques de la foudre ?

- Suivre la météo des orages régulièrement : **www.keraunos.org**
- Eviter d'avoir un *objet pointu proéminent dépassant la hauteur de la personne* (parapluie, piolet).
- *Ne pas rester groupé* (plusieurs mètres) ainsi que proche des objets ou animaux pour réduire le risque lié à une zone d'amorçage.
- *Rester 50-100m en dessous des crêtes et sommets.*
- Ne pas courir, *marcher par très petits pas.*
- *Se placer accroupi, pieds serrés, dans un creux sans écoulement d'eau. Ne pas avoir de contact entre le sol et les mains (grimpeurs).*
- Idem si l'abri est une grotte. *Ne pas être contre la paroi.*
- *Ne pas se mettre sous un arbre ou sous aucun objet ou édifice présentant un risque d'attirer la foudre par effet de pointe, pire que d'être debout isolé.*
- Rester si possible dans une automobile lorsque sa structure est en métal, car elle protège par *effet cage de Faraday.*
- Ne pas se mettre dans un local avec toit métallique et murs isolants (genre bergerie).

Note : un téléphone portable n'attire pas la foudre

La foudre en montagne est assimilée à un danger insurmontable par la rapidité de sa survenue, la brutalité de la déflagration, la sévérité des lésions des foudroyés. La gravité des accidents de la foudre est due en grande partie à l'environnement de la montagne. Plus d'un foudroyé sur deux décède immédiatement ou des suites de ses blessures. Les survivants souffrent souvent de lourdes séquelles dues à la foudre et qui sont aggravées par le long délai d'intervention des secours (de 1 h 30 à 48 h). Les chances d'échapper à la foudre reposent essentiellement sur des précautions de prudence, sur une connaissance des zones à risque, de conduites ne cédant pas à la panique et dans une moindre mesure sur l'efficacité des premiers gestes de secours.

* LES MÉCANISMES DES LÉSIONS PAR LA Foudre EN HAUTE MONTAGNE

Les caractéristiques du courant reçu lors d'un coup de foudre vont déterminer certains types de lésions différentes des accidents classiques d'électrocution. La foudre se caractérise par :

- une très haute tension,
- une durée très brève (quelques micro secondes à millisecondes),
- une forte production de chaleur diffusée à 80 % en surface du corps,
- une force explosive due à l'onde de choc, cause de traumatismes associés.

Les circonstances du foudroiement sont variées

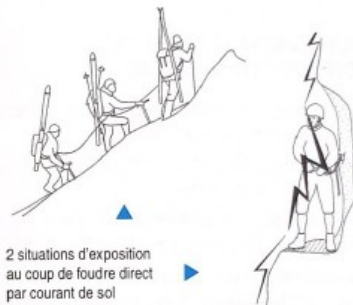
Le coup de foudre direct atteint l'alpiniste lorsqu'il se trouve sur une proéminence naturelle, un sommet ou une arête. Les chances d'atteinte directe augmentent quand la victime porte des objets métalliques (piolet, skis) placés au-dessus des épaules. Le corps agit alors comme un paratonnerre et ce coup de foudre est presque toujours fatal.

Le courant de sol est produit par une montée du potentiel de terre consécutive à un éclair touchant le sol ou un objet avoisinant. Il se diffuse comme une onde dont l'intensité diminue avec la distance. Toutefois le cheminement du courant varie selon la

résistance du terrain. Si le rocher est humide, le trajet du courant principal reste en surface. Le flux principal peut sauter des infractuosités du relief, emprunter des fissures plus humides. Ainsi, en terrain plat, ce sont parfois des groupes entiers de randonneurs (ou des troupeaux d'animaux) qui sont atteints (phénomène d'électrocution par un courant de sol ou tension de pas).

L'éclair latéral atteint des sujets abrités dans des cavités naturelles ou sous les arbres.

Les lésions par contact surviennent lorsqu'une personne est appuyée sur la paroi ou tient un objet conducteur du courant (piolet, bâton de ski, piquet de tente).



Les lésions dues à la foudre en montagne et leur incidence sur la conduite à tenir

Chaque foudroiement a ses particularités. Bien qu'il n'existe pas de forme clinique type, on distingue, pour des raisons pratiques, trois formes cliniques selon le degré de gravité.

➤ **Formes mineures** : le blessé est conscient, parfois confus, toujours amnésique. L'évolution est généralement favorable. On observe une cécité ou une surdité passagère. Localement, le foudroyé ressent des fourmillements des extrémités, surtout aux membres inférieurs. Ces phénomènes, très souvent passagers, peuvent devenir une gêne majeure au déplacement de la victime sur un terrain en pente. Les brûlures

sont superficielles, indolores. Des traumatismes peuvent être provoqués par l'onde de choc et par la chute qui s'en suit. Un examen médical est conseillé au retour dans la vallée.

➤ **Formes modérées** : le sujet est désorienté, subconscient. Il peut se plaindre d'une paralysie des extrémités. Il présente une peau pâle ou marbrée, un pouls filant ou absent, témoignant d'une chute passagère de la tension. Si cette hypotension persiste, il faut rechercher une lésion traumatique (fracture, hémorragie interne par effet de blast (déflagration), atteinte de la colonne vertébrale).

Après un *état de syncope* (sans pouls ni respiration), l'activité cardiaque réapparaît spontanément après une courte période (toujours inférieure à 3 minutes).

Les brûlures du 1^{er} et 2^e degré, localisées aux points d'entrée et de sortie du courant, sont facilement repérées en regard des destructions importantes des vêtements ou des chaussures. Elles n'imposent pas de soins immédiats. Une surveillance médicale à l'hôpital d'une durée de 24 heures s'impose pour parer aux complications cardiaques, oculaires et auditives et parfois psychologiques.

➤ **Formes graves** : l'atteinte du cœur (arrêt cardiaque ou fibrillation ventriculaire) serait consécutive au passage du courant dans le thorax entre le point d'entrée à la tête et le point de sortie aux membres inférieurs ou entre les deux membres supérieurs. L'absence de retour spontané de l'activité cardiaque laisse peu d'espoir de survie. Parfois l'arrêt cardiaque n'est pas immédiat. Il est la conséquence d'un arrêt de la ventilation par atteinte directe des centres respiratoires, situés à la base du cerveau. La persistance d'une mydriase (dilatation de la pupille) bilatérale et persistante malgré la réanimation est de très mauvais pronostic.

À côté des formes multisymptomatiques, des lésions localisées sont fréquentes

➤ **L'atteinte oculaire** peut être due aux effets thermiques et lumineux du flash d'origine ou au passage du courant électrique à travers l'œil (ou encore à l'effet traumatique de l'onde de choc). La recherche d'une cataracte, généralement de manifestation tardive sera systématique.

» L'atteinte auditive est fréquente et fait intervenir l'effet de blast et l'action directe du courant. Les ruptures tympaniques avec écoulement de liquide par l'oreille sont très fréquentes. La surdité, les vertiges et les nausées ne facilitent pas l'évacuation du blessé.

Les gestes d'urgence réalisés par un alpiniste-témoin

Comme dans toutes les urgences, la priorité est d'assurer la liberté des voies aériennes, la ventilation et l'hémodynamique (circulation).

L'absence de respiration spontanée impose la ventilation artificielle.

L'absence de pulsations carotidiennes palpables nécessite d'entreprendre immédiatement un Massage Cardiaque Externe (MCE).

Rappel des techniques de réanimation

» Avant de débuter une ventilation artificielle ou/et un massage cardiaque externe, il faut débarrasser le blessé de son sac à dos, enlever une partie des vêtements du haut du corps, et ensuite allonger le blessé sur une plateforme horizontale.

» La ventilation artificielle consiste à insuffler dans les voies aériennes de la victime, par sa bouche, un volume d'air suffisant.

Préalablement il faut désobstruer soigneusement la bouche et dégager la langue.

Technique du bouche à bouche

- 1 Boucher les narines de la victime entre le pouce et l'index de la main placée sur le front.
- 2 Appliquer la bouche largement ouverte autour de la bouche de la victime pour éviter toute fuite d'air.
- 3 Souffler progressivement, assez vivement et avec assez de force.

- 4 Observer le mouvement de la poitrine et écouter les bruits de pénétration.

Le cycle est répété 12 à 15 fois par minute, sauf si la ventilation spontanée de la victime reprend de façon efficace (12 à 20 mouvements par minute).

technique du bouche à bouche



La ventilation est indissociable du massage cardiaque externe

» Avant de débuter le massage cardiaque externe : il faut d'abord faire parvenir de l'air dans les alvéoles afin d'oxygéner le sang. Deux insufflations sont donc nécessaires,

» pendant le massage cardiaque externe, lorsqu'un seul sauveteur assure ventilation et massage cardiaque externe.

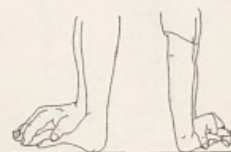
La compression doit s'effectuer sur le sternum et doit déprimer le thorax de 3 à 4 cm.

- 1 La pression s'effectue avec le talon d'une main.

- 2 La pression s'effectue bras tendus.

- 3 La poussée vers le bas doit être verticale.

- 4 La compression doit être vive et durer assez longtemps.



La pression s'effectue bras tendus

- » Débuter la réanimation par deux insufflations,
» puis pratiquer 15 compressions successives puis deux insufflations et reprendre 15 compressions.

Évaluer les résultats :

» toutes les 2 minutes interrompre les manœuvres, sans se relever, pour rechercher si le pouls carotidien est perceptible, c'est-à-dire si l'activité cardiaque a repris spontanément.

La présence de deux témoins permet une séquence entre ventilation artificielle et MCE, cinq compressions suivies d'une insufflation.

Compression
et insufflation



» Si le foudroyé est conscient, des troubles psychiques plus ou moins importants peuvent modifier son comportement. Dans tous les cas la perte de mémoire est constante. Le compagnon de cordée devra être particulièrement prudent dans les déplacements, éviter une chute et protéger la victime du refroidissement. En effet toutes les conditions de survenue d'hypothermie sont réunies, sujet allongé au contact direct de sol froid, le vent froid, l'humidité de la pluie ou de la neige, les vêtements mouillés et parfois brûlés par la foudre.

L'évacuation par hélicoptère nécessite parfois de transporter le blessé sur une plateforme d'où il sera chargé directement dans la cabine, le treuillage en bout de câble pouvant provoquer le foudroiement direct de l'hélicoptère.

* LES MESURES DE PRÉVENTION

Météorologie

» Éviter d'entreprendre une course en montagne lorsqu'il y a un risque d'orage semblerait être la mesure de prudence la plus élémentaire. Les centres de météorologie donnent des bulletins pré-

visionnels répétés, avec des indications locales précises. Seul l'alpiniste, engagé dans de grandes courses ou ayant pris du retard, peut être surpris par l'orage de fin d'après-midi (orage de convection). En fait la plupart des accidents de la foudre surviennent la nuit ou au petit matin (chaleur). Le front froid qui suit l'orage, transforme brutalement le climat estival en conditions rigoureuses hivernales, baisse rapide de la température, chute de neige fine accompagnées de bourrasques de vent, visibilité réduite. Dans de telles conditions, l'arrivée des secours est toujours très tardive, expliquant ainsi la gravité des accidents de la foudre en montagne.

Choix des zones géographiques

➤ Choisir des courses en montagne peu exposées au risque de foudroiement et surtout éviter de se trouver sur les sommets ou arêtes à l'arrivée de l'orage. Une surveillance attentive de l'évolution des conditions météorologiques permettent d'anticiper le premier coup de foudre, celui qui est le plus meurtrier.

Équipement (vêtements et accessoires)

➤ Éviter de porter des objets métalliques au contact de la peau (bagues, alliances, chaînes, montres, boucles de ceinture, fermeture éclair et pièces de monnaie). Ces objets qui attirent la foudre en surface du corps auraient tendance à limiter l'intensité du flux dans le corps mais occasionnent des brûlures localisées parfois profondes.

À l'approche d'un orage, il faut changer les vêtements humides de transpiration contre des vêtements secs, puis enfiler une veste imperméable ce qui tend à augmenter la quantité de courant en surface.

Équipement (matériel)

➤ L'altimètre, la boussole et le matériel technique d'un usage non immédiat (descendeur, mousquetons, etc.), doivent être mis dans le sac à dos. La mise hors usage du poste émetteur-récepteur portable (ou du téléphone portable) serait catastrophique en cas d'alerte à donner. Il est primordial de protéger le poste et sa batterie d'une décharge électrique intense. Il sera placé de préférence au centre du sac à dos, entouré de vêtements volumi-

neux, genre veste de duvet. Les fabricants devraient proposer une protection spécifique contre la foudre, de type "cage de Faraday".

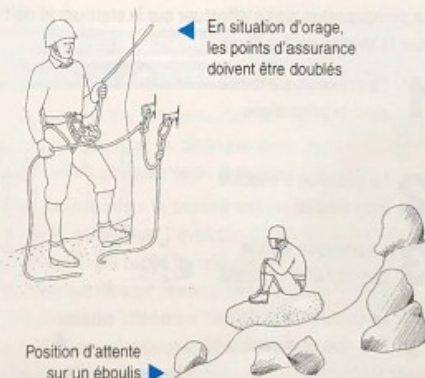
Technique de manœuvres (sécurité/protection)

➤ Les mesures de prudence en progression encordée doivent être renforcées, points d'assurance plus rapprochés, relais parfaitement protégés, sécurité accrue dans les manœuvres de cordes. Le port du casque de montagne (en polycarbonate) est impératif, comme protection des impacts directs de la foudre, et comme moyen de prévention des traumatismes crâniens causés par une chute.

Les mesures de protection

➤ Le meilleur moyen de ne pas être foudroyé en montagne est de ne pas s'attarder sur des sommets ou arêtes. Si l'orage menace et qu'on se trouve sur un lieu exposé, il faut s'en éloigner aussi vite que possible. Une pente en neige ou un éboulis met à l'abri des coups directs. Un petit bloc isolé utilisé comme siège constitue un bon refuge en isolant le corps des courants de terre.

➤ Si la foudre semble imminente ou se manifeste dans les proches environs, il est important de ne pas céder à la panique. La fuite désordonnée néglige toutes les mesures de sécurité. Plutôt que de courir et trébucher, il est préférable de chercher



un emplacement protégé des impacts directs et des courants de sol. Un replat, une pente ou même une légère proéminence, dominés par un point haut proche sont à peu près à l'abri d'un impact direct. L'endroit où l'on s'accroupit doit être à une distance d'au moins 2 mètres de tout rocher vertical ; le ressaut que forme celui-ci doit avoir une hauteur minimum de 4 mètres. La zone protégée d'une paroi est égale à la hauteur de celui-ci dans un rayon inférieur à 30 mètres, en maintenant un écart de 2 mètres avec la base. L'emplacement choisi doit être sec et sans lichen, si possible sur une pente d'éboulis, loin des zones humides. Les anfractuosités du terrain ou les grottes doivent être suffisamment spacieuses pour permettre de s'asseoir à plus d'un mètre des parois et d'avoir 3 mètres découverts au-dessus de la tête. On évitera de se réfugier sous un surplomb ou de se tenir debout près de l'entrée d'une anfruosité où le corps peut constituer un excellent conducteur du courant de terre.

➤ Lorsqu'un groupe est surpris par la foudre, chaque personne doit s'isoler des autres et maintenir un écart de 2 mètres.

➤ La position accroupie "tête rentrée entre les épaules" ou assise avec les genoux fléchis et les pieds et jambes joints semble la meilleure. En s'enroulant sur soi-même, on limite la différence de potentiel entre les différents points du corps et on diminue les effets de la montée du potentiel de terre.

➤ Il est recommandé de s'isoler du rocher ou du sol au moyen de tout matériel isolant dont on dispose. Le sac à dos, la corde d'attache, des vêtements sont de très bons isolants (surtout s'ils sont maintenus secs) et seront utilisés comme siège. Une pierre plate juste assez large pour s'asseoir et y placer aussi ses pieds est également une bonne protection à condition d'être détachée de la masse avoisinante ou d'être située au milieu d'un éboulis.

➤ L'alpiniste pris par l'orage sur une vire est exposé

Emplacement à l'abri de la foudre au pied d'une paroi

sé à une chute en cas de perte de conscience ou de contractions musculaires incontrôlées. Il doit être parfaitement arrimé



▲ Position d'attente sur une vire

à la paroi par un ou plusieurs points d'ancrage. Le point d'attache doit être proche pour réduire le gradient de potentiel le long de la corde, et le sujet en tension sur plusieurs brins de cordes ou sangles pour éviter un risque d'arrachement en cas de projection. Il apparaît obligatoire de s'encorder à la taille sur le cuissard, sans mousqueton intermédiaire, seule véritable prévention de traumatisme grave au cours d'une chute. Il est impératif de ne pas constituer un circuit électrique en plaçant simultanément les mains et les pieds au contact de la paroi rocheuse.

» En cas d'orage imminent, la descente en rappel peut être le seul moyen de fuite. Des précautions simples sont à prendre, utiliser une corde de rappel si possible sèche, laisser pendre les objets métalliques accrochés sur le sac (piolets et crampons), placer une auto-assurance, éviter de toucher le descendeur, et descendre les pieds en position rapprochée. En cas de coup de foudre, la victime sera retenue au rappel et pourra être secourue par le compagnon de cordée.

» Faut-il se séparer des objets métalliques qui selon les croyances attirent la foudre ? Le métal, en tant que tel, "n'attire pas l'électricité" mais est un excellent conducteur. Ces objets peuvent foudre ou provoquer un arc électrique. Au contact du corps, il s'en suivra une brûlure. En cas d'orage imminent il est conseillé d'éloigner les objets métalliques. Dans l'impossibilité de le faire ils peuvent être attachés sur le sac à dos en évi-

tant que les extrémités dépassent la tête, comme c'était le cas des anciens piolets de grande taille ou des skis portés sur le sac. Abandonner le piolet, les crampons et tout autre matériel métallique met l'alpiniste dans une situation très dangereuse après l'orage, quand il faudra descendre dans la vallée.

» Les habitations (refuges, chalets et bergeries) sont des lieux protégés de la foudre, si les personnes se tiennent à distance des conduits métalliques, des lignes d'alimentation, des cloisons des murs et des ouvertures. Rappelons que les véhicules (auto, bus et trains) sont d'excellentes "cages de Faraday", les cabines de téléphériques et les sièges des remontées mécaniques sont protégés par les câbles qui les supportent.

* EN CONCLUSION, LES MESURES DE PRÉVENTION SONT SIMPLES

- » fuir les sommets et arêtes avant l'arrivée de l'orage. Les flammes et abeilles sont des signes annonciateurs d'un état d'orage,
- » ne pas céder à la panique et observer les règles de sécurité dans les manœuvres de corde,
- » choisir des emplacements protégés de la foudre et des courants secondaires pour attendre l'éloignement de l'orage,
- » en cas d'accident, entreprendre une réanimation et protéger le blessé des conditions atmosphériques, l'arrivée des secours étant toujours très tardive,
- » si les manifestations électriques de l'orage sont très fréquentes en montagne, les accidents dus à la foudre sont rares mais graves. Porter secours à un foudroyé, c'est avant tout mettre le blessé dans les meilleures conditions dans l'attente des secours. En haute montagne, les gestes de secourisme n'ont pas la même efficacité que sur la voie publique. Le bon sens, la maîtrise de soi et surtout la chance peuvent faire évoluer la situation favorablement. Un message d'alerte cohérent peut raccourcir le temps d'évacuation.

Pour compléter votre information, les actes du congrès "Foudre et Montagne 94" sont disponibles à la SEE - 48, rue de la Procession - 75724 Paris cedex 15

Les schémas sur la réanimation sont tirés du livre "Premiers secours en montagne" - France-Sélection.

Cette publication s'inscrit dans la suite du Congrès "Foudre et Montagne" (Chamonix - juin 1994), réalisé par la SEE et le CAF sous le haut patronage de l'UNESCO.

ACCIDENTS DE LA FOUDRE EN MONTAGNE

Conduite à tenir & Prévention

Dr Jean-Pierre Herry
médecin de l'ENSA et de l'ARPE
Commission médicale de la FFME

Mme Janine Ravary
Mme Françoise Ergaut
Centre médical de l'ENSA

Schémas de M. Gérard Decorps - Professeur à l'ENSA



CAF - 24, av. de Laumière - 75019 Paris
Tél. : (1) 42 02 68 64 - Fax : 42 03 55 60

Sources

- <https://www.wikipedia.fr>
- <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/foudre.html>
- http://fred.elie.free.fr/foudre_et_tensiondepas.pdf
- <https://fr.wiktionary.org/wiki/foudre>
- <https://météofrance.com/comprendre-la-météo/orages>
- http://olivier.granier.free.fr/PC-Montesquieu445072/cariboost_files/orage-air.pdf
- ...