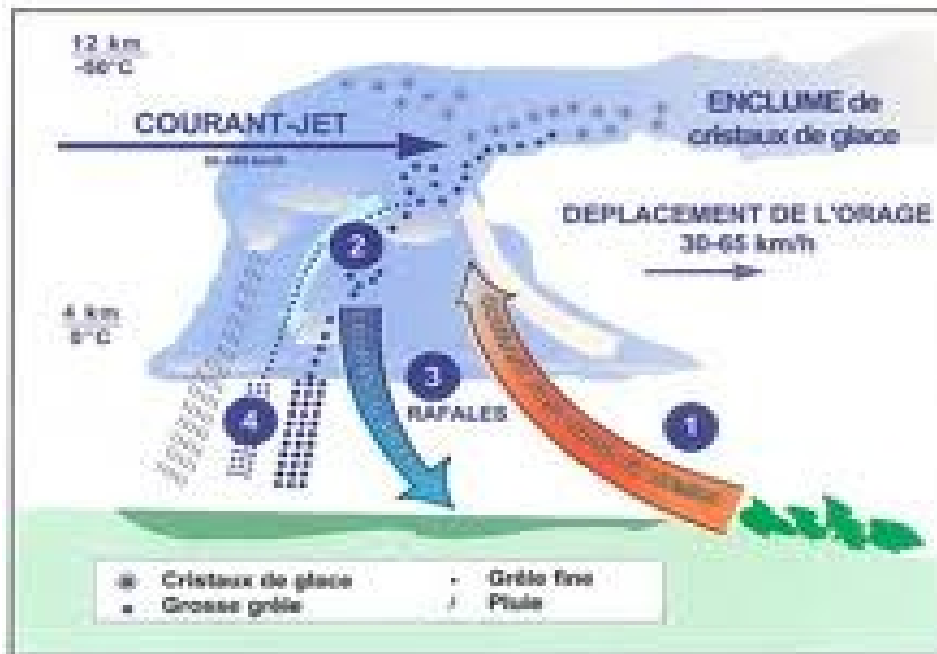


# l'orage

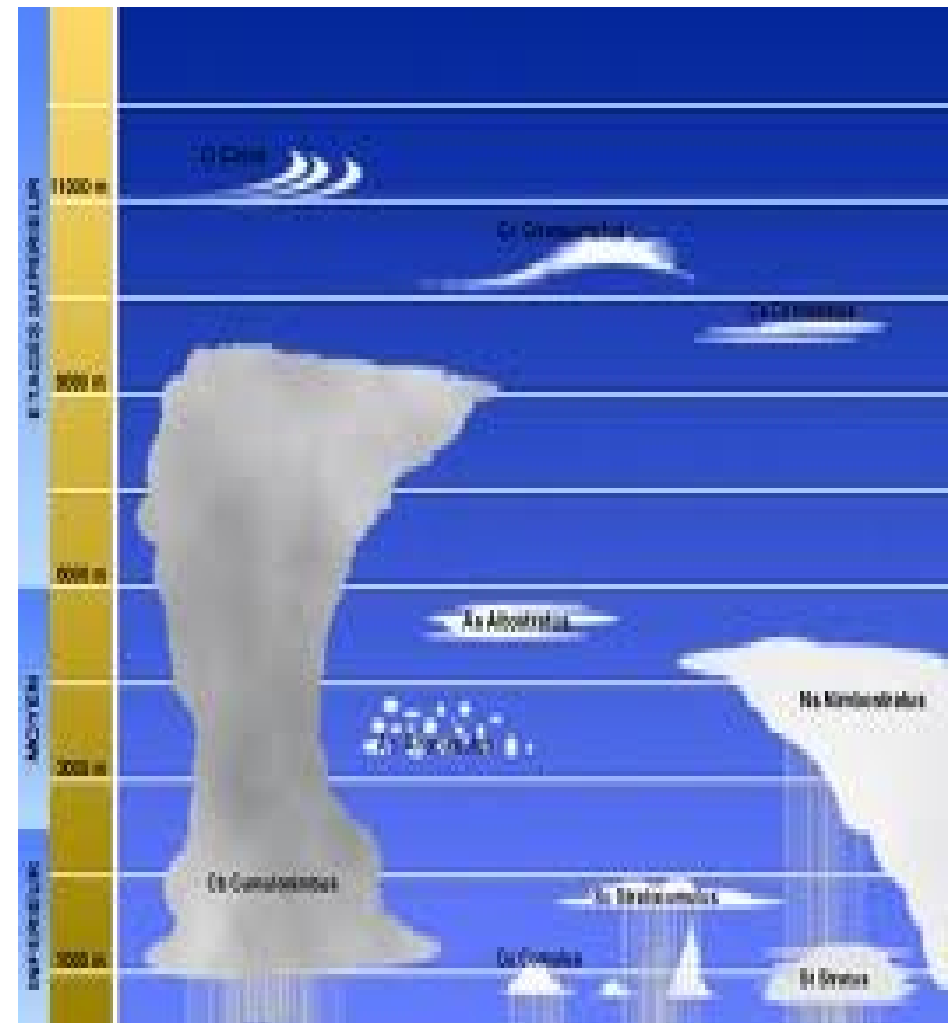
- difli zenagui



### SCHEMA D'UN ORAGE A GRELE TYPE



- 1 Alimentation de l'orage en air chaud et humide
- 2 Formation de la neige, du grésil et de la grêle
- 3 Coup de vent de grain à l'avant de l'averse
- 4 Averse de pluie et de grêle



La foudre, dont la découverte d'une partie du fonctionnement date du milieu du XVIIIème par une expérience de Benjamin Franklin, reste pourtant encore imprévisible. Aujourd'hui son fonctionnement nous est parfaitement connu, pourtant de grandes questions se posent toujours.

Nous avons axé donc notre démarche de réflexion sur ce phénomène physique qu'est la foudre. Nous avons ainsi choisi de nous intéresser tout particulièrement à ce phénomène atmosphérique car nous nous sommes demandés en voyant l'énergie que déchargeait un nuage en frappant le sol s'il ne serait pas possible de pouvoir l'utiliser. Nous avons alors étudiés plus en détails les moyens par lesquels nous pourrions récupérer cette énergie.

Nous étudierons donc la foudre par le biais de notre problématique: Peut-on récupérer l'énergie de la foudre?

Nous allons donc aborder ce sujet en deux parties : tout d'abord par l'explication de son fonctionnement puis par les éventuelles possibilités d'utilisation de l'énergie qu'elle produit.

## 1) L'histoire de la foudre

Au milieu du XVIII siècle, Benjamin Franklin effectue des expériences sur un phénomène physique encore mal compris : la foudre. Il observe alors ce phénomène mystérieux et remarque qu'il présente des caractéristiques identiques à celles de l'électricité comme sa forme ondoyante et crochue, Elle permet aussi d'enflammer des combustibles. Franklin suppose donc que la foudre est constituée d'arcs électriques à grande échelle. De plus les étincelles relient plus facilement des tiges conductrices et pointues (baptisées électrodes). Il suppose donc pouvoir attirer la foudre en lui présentant une telle tige lors d'un orage.



Alors qu'un orage éclate à Philadelphie le 15 Juin 1752 ce physicien lance un cerf-volant muni d'une pointe métallique qui fait office d'électrode. Comme prévu, le nuage s'y décharge et Franklin en subit le choc. Néanmoins, il y survécu.

Il démontra ainsi la nature électrique de la foudre. Cette découverte fut alors appliquée à la protection des bâtiments contre la foudre. Le paratonnerre est né. L'invention fonctionne bel et bien, mais, à cette époque personne ne sait expliquer comment...

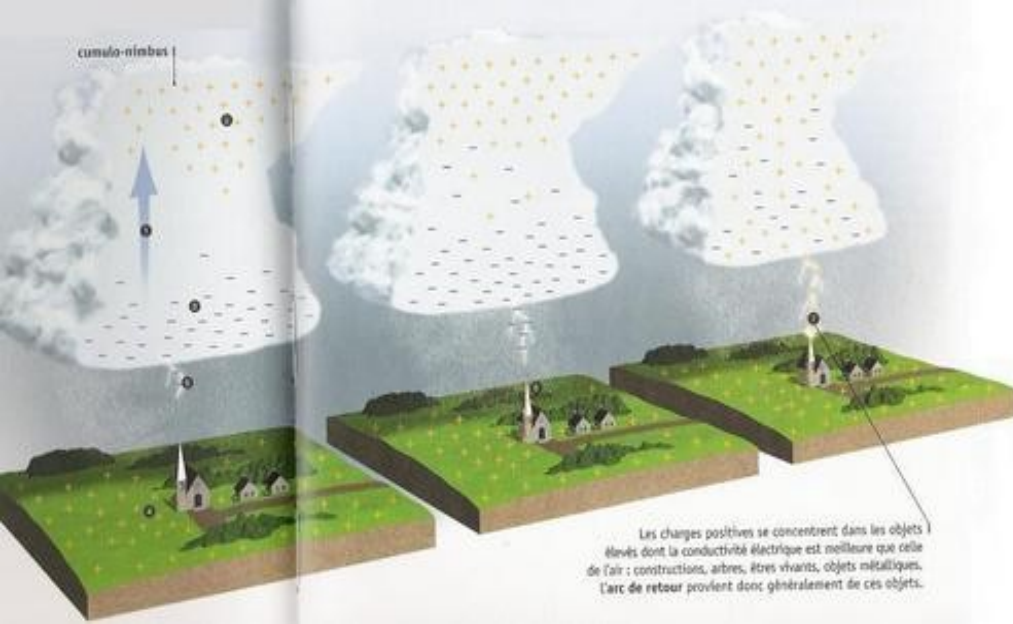


## 2) La formation de la foudre

Chaque seconde, plusieurs centaines d'éclairs crépitent autour de la Terre. Ces « étincelles » géantes sont dues aux décharges électriques qu'on appelle plus communément la foudre. Ce phénomène se produit au cours de la phase de maturité d'un orage. Nous allons donc vous expliquer comment ce phénomène se produit.



Le phénomène astronomique qu'est la foudre se forme à partir d'un nuage appelé cumulonimbus, il peut culminer de quelques centaines de mètres à 2 000 mètres du sol. Tout d'abord des courants d'air (1) distribuent des charges positives (2) au sommet du nuage d'orage et renvoi les charges négatives (3) à la base par un phénomène encore peu connu. En réaction à ce transfert de charge le sol situé en dessous du nuage se charge positivement (4). Un champ électrique est ainsi créé. Il s'accroît jusqu'à ce que l'air, jouant normalement le rôle d'isolant, ne s'ionise. Un flux d'électrons (5) jaillit alors de la zone négative, c'est le précurseur. Cette étincelle reste invisible car elle se déplace trop vite pour que l'œil puisse la percevoir, en effet elle se déplace à une vitesse de  $200 \text{ Km.s}^{-1}$  suivant une trajectoire curviligne, non uniforme. Quand le précurseur est arrivé à proximité du sol il attire un flux positif (6). Celui-ci forme une deuxième étincelle, par contre celle-là part du sol. Lorsque ces deux étincelles se rejoignent elles forment alors un canal dit d'air ionisé. Ce canal n'est pas très grand, seulement quelques centimètres de diamètre. Par contre le courant positif remontant est très puissant, c'est l'arc de retour (7). C'est cette décharge électrique qui produit la ligne lumineuse de l'éclair.



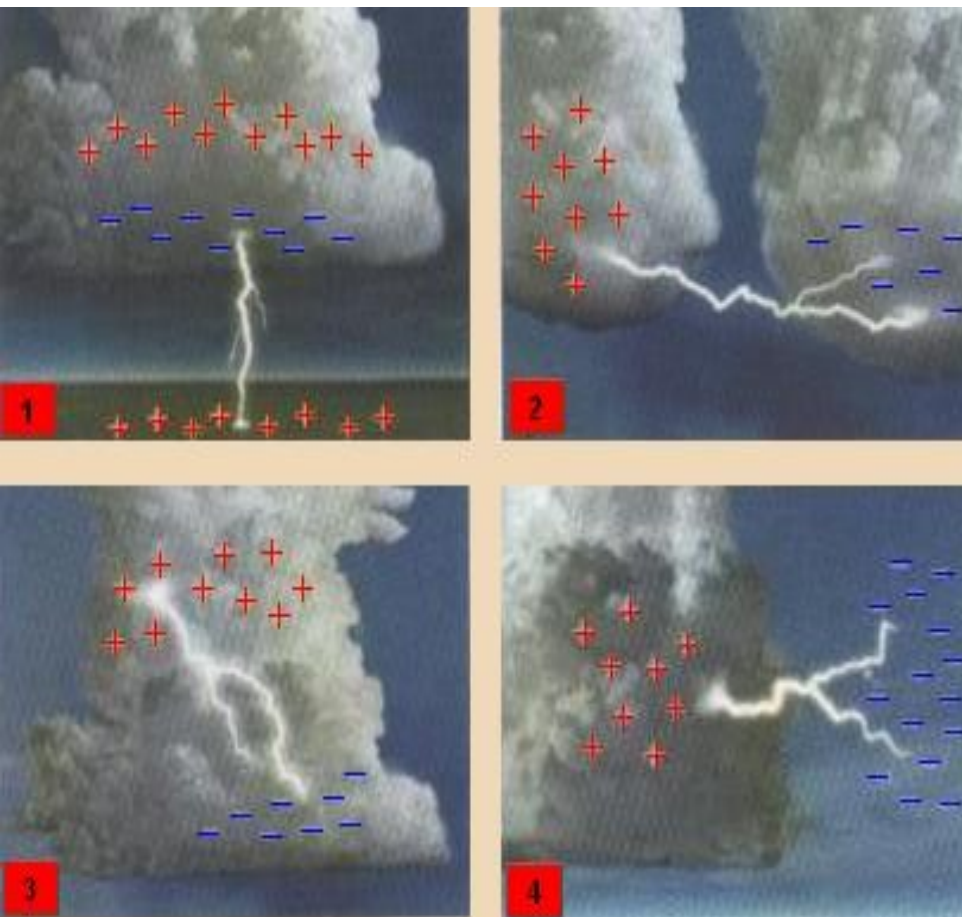
Ainsi nous observons trois types d'éclairs cependant ils se forment tous de la même manière, il n'y a que le lieu de décharge qui s'avère différent.

Ces types sont : 1- Le coup de foudre, celui que nous avons choisi de décrire précisément, ce sont les plus spectaculaires mais il n'y a que 20% des éclairs qui suivent ce chemin

2- L'éclair inter nuageux

3- L'éclair intra nuageux

4- La décharge en nappe.



Nous observons plusieurs effets lors de la décharge de la foudre, mais nous ne percevons pas tous ces effets au même moment et pourtant ils se produisent exactement en même temps. Ces phénomènes sont : l'éclair et le tonnerre.

Lorsque la foudre se propage dans l'air, les gaz contenus dans l'air :

- o 78% de diazote ( $N_2$ ),
- o 21% de dioxygène ( $O_2$ ),
- o 1% de gaz rares : - dioxyde de carbone ( $CO_2$ )  
- la vapeur d'eau ( $H_2O$ )

Ces gaz sont ionisés, car la température de la foudre peut atteindre, lors de sa décharge,  $30\,000^\circ C$ , ce qui forme un plasma conducteur expliquant la soudaine émission de lumière. Ce phénomène lumineux est appelé « éclair ». Cet éclair peut apparaître sous plusieurs couleurs. Les facteurs influençant sa couleur sont : la densité de l'air, la distance séparant celui qui observe l'éclair et l'éclair, des différentes particules présentes dans l'atmosphère à l'endroit où se décharge la foudre. Cependant nous distinguons bien trois états : la couleur blanche quand l'air est « sec », un éclair peut être jaune quand il y a présence d'une grande quantité de poussière, rouge lorsque le temps est pluvieux et bleu quand la grêle tombe.



Il y a un deuxième phénomène qui se produit lorsque la foudre est présente. Ce phénomène est un son parvient à l'observateur sous forme de grondement. Ce grondement a lieu car la foudre se transmet dans l'air environnant, sa très grande chaleur provoque une brusque dilatation de l'air, suivi d'une contraction. C'est sous l'impulsion de ce double mouvement que se crée une onde de choc se transformant ensuite en onde acoustique, ce phénomène fut appelé « tonnerre ».



Lorsque nous percevons la foudre nous voyons tout d'abord l'éclair puis le tonnerre, ceci est dû à la différence entre la propagation de la lumière et la propagation du son. En effet la vitesse de la lumière est environ trois fois plus grande que la vitesse du son il suffit donc de compter le nombre de secondes séparant les deux phénomènes et de diviser ce temps par trois. On obtient ainsi une estimation relativement bonne de la distance entre le lieu où l'observateur est situé et le lieu où la foudre est tombée cette distance s'exprime alors en kilomètres.



### 3) La machine de Wimshurst

Cet appareil est une machine électrostatique. Son inventeur, James Wimshurst, est un physicien britannique. Il est né à Londres en 1832. C'est en 1882 qu'il créa cette machine. Tout d'abord, cette machine fût utilisée pour illustrer de nombreux phénomènes d'électricité statique.





La machine de Wimshurst est une machine électrostatique qualifiée de machine à « influence ». Nous allons maintenant vous expliquer comment un tel appareil peut produire de l'énergie et surtout quel pourrait être son rapport avec la foudre. En début d'expérience les pastilles métalliques aussi appelées secteurs sont neutres, c'est-à-dire qu'elles ne possèdent aucune charge, ni positives, ni négatives. Quand nous effectuons une rotation des plateaux les secteurs entrent en mouvement de rotations et vont toucher rapidement les balais électriques. Les balais électriques vont prélever des charges électriques aux secteurs. Sous l'influence de la charge des secteurs situés parallèlement sur l'autre disque. C'est grâce à ce phénomène que la machine va se charger petit à petit, la tension va ainsi augmenter, mais le courant, quant à lui, reste relativement faible. Des peignes collecteurs vont donc pouvoir récolter les charges, quelles soient positives ou négatives. Ceux-ci vont envoyer les charges dans des condensateurs, ceux-ci vont accumuler les charges. Dès que la tension dans les condensateurs sera suffisamment élevée, les électrons vont se précipiter de l'électrode négative vers l'électrode positive, c'est le sens de mouvement des électrons. Le déplacement en masse des électrons va provoquer un arc électrique au niveau des boules de l'éclateur. Lorsque ce phénomène s'est produit les condensateurs sont redevenus neutres.

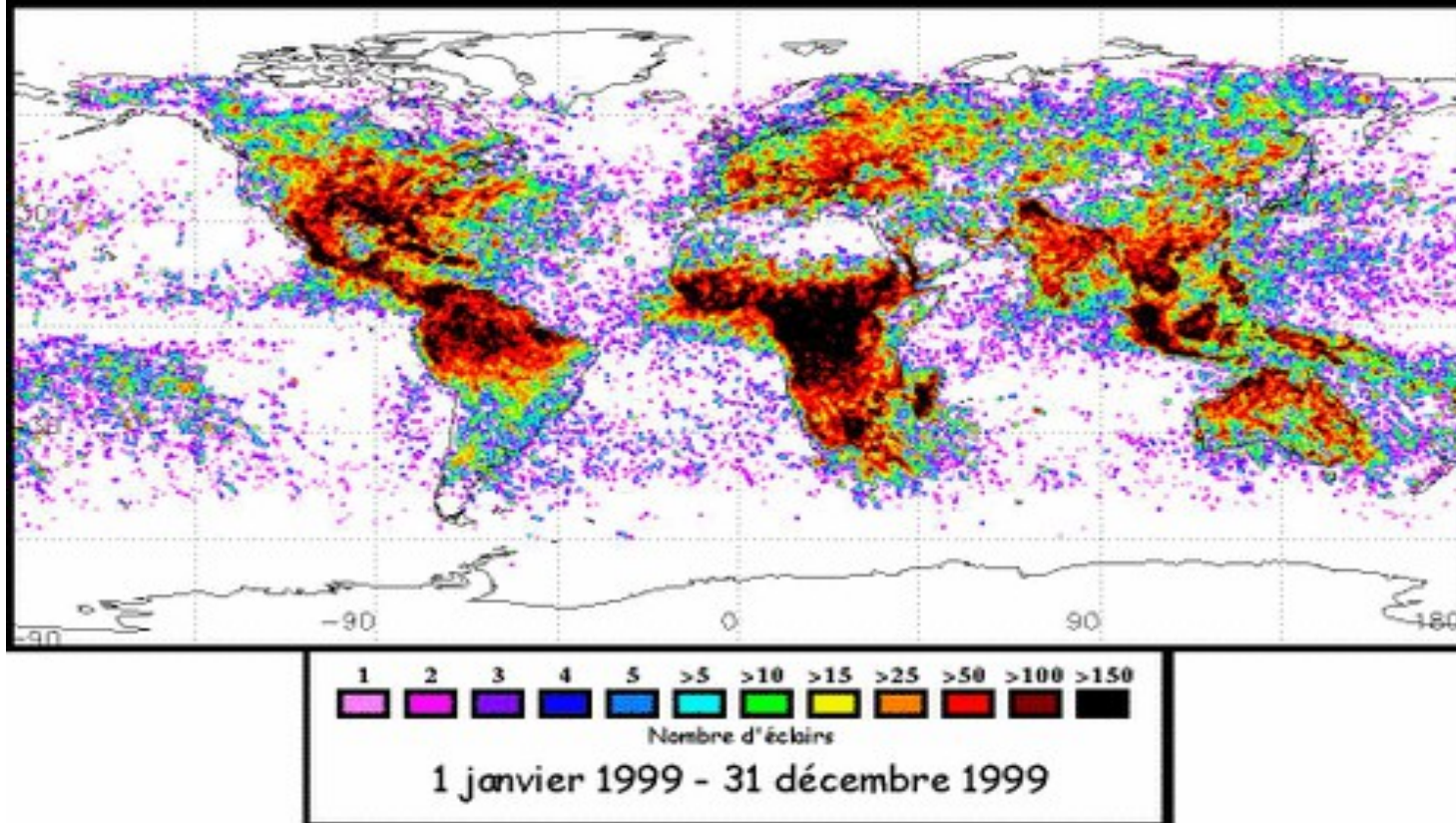
L'énergie contenue dans un nuage de type cumulo-nimbus est statique. La machine de Wimshurst permet de reproduire le phénomène de la foudre à échelle humaine. Lorsque nous faisons tourner les plateaux les secteurs entrent en contact avec les balais métalliques, c'est exactement ce phénomène qui se produit lors du phénomène atmosphérique. Cette étape pourrait s'apparenter au mouvement des charges dans le nuage. Ainsi quand la machine est chargée, le condensateur chargé positivement représenterait le sol ou le paratonnerre et le condensateur chargé négativement le cumulo-nimbus, l'arc électrique serait donc le coup de foudre.



1) L'intérêt de la foudre

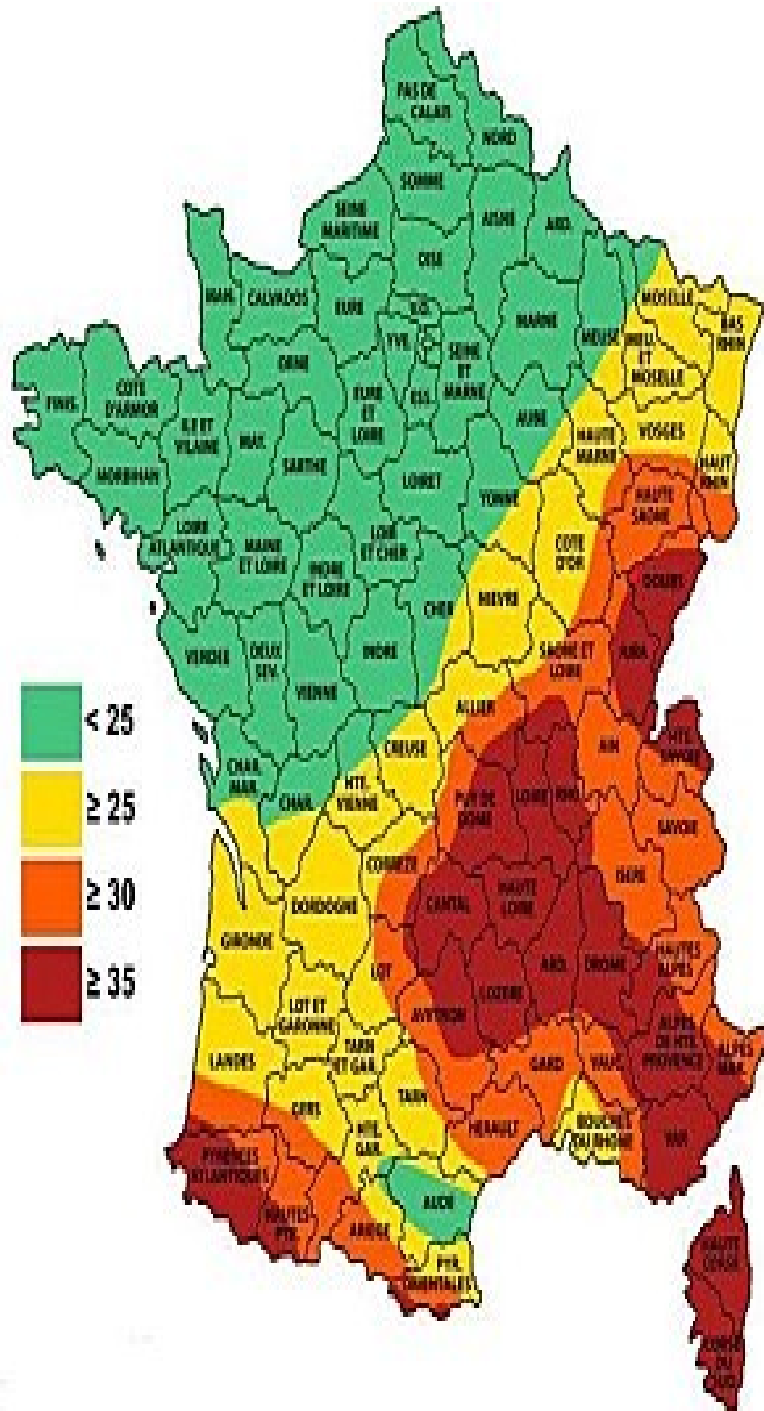
Un éclair génère en moyenne environ 500 MJ et a durée extrêmement courte qui approche les 25  $\mu$ s, pendant cet intervalle de temps, ce dernier libère une puissance avoisinant les 50 GW .  
L'énergie engendrée par cet éclair pourrait alimenter une vingtaine de millions de grille-pains à la fois.

Dans le monde, on observe une grande variation du nombre d'éclair, elle peut passer de quelques dizaines à plusieurs millions. Si par exemple, on suppose qu'un orage est composé d'une moyenne de 100 éclairs, ce dernier développerait une énergie plus que considérable, d'environ 50 GJ.



En France, la densité de coup de foudre est de 1 à 3 au km<sup>2</sup> et par an, tandis que le territoire français s'étend sur environ 550 000 km<sup>2</sup>, et il a été répertorié une moyenne d'environ un millions d'éclair frappant le sol français par ans ce qui ne constitue que un tiers des éclairs. Mais ceci dégage une énergie avoisinant les 500 TJ (10<sup>15</sup> J) par ans frappant le sol. Et elle développe une puissance moyenne qui est forte stupéfiante d'environ 16 MW en une année, ce qui permettrait la possibilité d'alimenter 5 000 foyers.

Niveau Kéraunique : nombre jours où le tonnerre a été entendu dans l'année.



En comparaison, il y a d'autres sources d'énergie qui fournissent de l'énergie de façon conséquente, tels que :

Une centrale nucléaire produit dans les 500 MW

Une centrale thermique produit 100 à 700 MW

Une centrale hydraulique produit environ 500 MW

Une centrale d'éolienne produit pas loin de 7 MW

Néanmoins la foudre génère une énergie nettement inférieure à celle fournie par une centrale nucléaire, mais cette dernière reste supérieure à celle d'un champ d'éolienne, et elle a l'avantage de ne pas rejeter de déchets nuisible au monde contrairement à l'énergie nucléaire, elle pourrait donc constituer une énergie non polluante. Mais d'après la conférence sur le nucléaire qu'il y a eu le Lundi 2 Mars au lycée, ces déchets nucléaires seraient insignifiants par apport aux déchets de la civilisation.

De même que la production basée sur la récupération de la foudre a pour avantage de capter l'électricité, et non pas de la produire, ce qui signifie qu'il n'y a pas besoin de recyclage ou de traitement de cette dernière, ce qui fait pencher la balance en sa faveur autant au niveau écologique qu'économique.

## 2) Les moyens d'utilisation de la foudre

Il semblerait possible de récupérer l'énergie phénoménale libérée par la foudre grâce à un paratonnerre mais à cela plusieurs problèmes se posent :

Tout d'abord, un paratonnerre ne peut capter que les éclairs qui frappent le sol, ce qui ne représente qu'à peine un tiers du total des éclairs.



De plus, un paratonnerre capte vers lui tous les éclairs, mais seulement dans un cercle ayant pour rayon sa hauteur, ce qui imposerait la mise en place d'un nombre impressionnant d'infrastructures (environ deux milliards de paratonnerres sur la France seule !), ainsi que des coûts très élevés, que ce soit pour l'installation de ces appareils ou encore pour leur maintenance.

Un autre important problème est qu'il nous est aujourd'hui impossible de stocker l'énergie avec nos connaissances actuelles en la matière car nous sommes en permanence approvisionnés en courant, c'est pourquoi la production doit être suffisamment importante pour répondre à la demande à tout moment et en toutes circonstances. Or nous savons que l'énergie d'un éclair n'est libérée qu'en seulement  $25\mu\text{s}$ , il serait donc très peu commode de ne pouvoir utiliser nos appareils électriques que durant un laps de temps aussi court...

En plus, en y regardant de plus près on s'aperçoit que même si la puissance instantanée fournie par un seul éclair est phénoménale, l'énergie moyenne libérée par la foudre en une année surpasse à peine celle libérée par une éolienne.

Le dernier grand problème serait de trouver un lieu où l'implantation d'un tel dispositif serait possible. On imagine aisément les difficultés que les entreprises auraient à convaincre les riverains d'accepter l'implantation d'un tel site aux vues des réticences de ces derniers lorsque qu'un projet d'installation d'un parc à éoliennes est annoncé.

De plus ces parcs à l'esthétique très contestable auraient pour unique but de faire tomber la foudre près de leurs habitations ce qui entrainerait des surtensions presque à chaque éclair.

On comprend donc l'étendue du problème posé par l'installation d'un parc à paratonnerre avec comme unique argument contre toutes ces inconvénients la phrase : « C'est bon pour la planète »...



Pour conclure, bien que la foudre soit une source d'énergie propre possédant un grand potentiel, cette dernière ne peut encore être exploitée au jour d'aujourd'hui du fait des limites de nos technologies actuelles. Cependant il est possible que dans un futur plus ou moins proche, l'évolution des technologies électriques nous permettront d'en faire usage. Cette nouvelle source d'énergie aurait alors plusieurs côtés positifs comme le fait de ralentir l'effet de serre, car l'énergie produite par la foudre ne rejette aucun déchet, ceci représenterait donc un bienfait non négligeable à long terme.

Comment évaluer la distance de l'orage?

On voit tout d'abord l'éclair, puis on entend le tonnerre, tout simplement parce que la lumière voyage environ 1 million de fois plus vite que le son. (vitesse du son = 337 m/s; vitesse de la lumière = 300000 km/s). On peut évaluer la distance de l'orage de 2 façons:

En comptant le nombre de secondes qui séparent la vision de l'éclair et le bruit du tonnerre et en divisant ce nombre par 3, on aura la distance nous séparant de l'orage en kilomètres. (Par exemple, si 6 secondes séparent l'éclair du tonnerre, alors on sait que l'orage est situé à 2 km de lieu où l'on est.)

En comptant le nombre de secondes qui séparent la vision de l'éclair et le bruit du tonnerre et en multipliant ce nombre par 300, on aura alors la distance approximative nous séparant de l'orage en mètres. (Par exemple, si 6 secondes séparent l'éclair du tonnerre, alors on sait que l'orage est situé à 1800 m de lieu où l'on est.)



## Pourquoi y-a-t-il tant d'orages l'été?

Les orages ont habituellement lieu à la fin d'une chaude journée d'été, quand les cumulonimbus ont atteint leur développement maximal (extension verticale pouvant atteindre 20 km).

Pourquoi? Parce que l'été, le soleil brille plus longtemps et est plus fort; il réchauffe l'air. Plus l'air est chaud, plus il monte vite et haut, rencontrant des zones de plus en plus froides. Il y a donc formation de plus de cumulus ou cumulonimbus. D'importantes masses d'air très froid et d'air très chaud se confrontent donc, cherchent à se repousser, montent et descendent en tourbillons, se mélangent chargeant ainsi les nuages d'électricité.

Un éclair consomme au maximum l'équivalent en énergie d'une machine de 2800 KW/h. Les 44000 éclairs qui se produisent par jour dans le monde fourniraient l'équivalent de 100 éclairs/s. Ceci correspond à un déversement d'énergie de 4 milliards de KWatts. Même à 1 cent le KW/h, cette énergie vaudrait 200 000 000\$/jour. L'intensité équivaldrait à 10000 ampères. Mais capter cette énergie est aussi difficile que de construire un pont de la terre à la lune!

### Différents noms d'éclairs:

fulminants: en sillons qui ne sont ni rectilignes ni en zigzag, mais courbés avec des arrondis graduels.

ramifiés: lorsqu'ils se subdivisent en plusieurs branches.

sinueux: lorsqu'ils ont de nombreux traits et segments assez apparents.

En fait, ces trois appellations réfèrent à l'éclair fulminant.

<http://energieetfoudre.over-blog.com/>

<http://www.meteo.org/phenomen/orage.htm>