

La foudre au-dessus des nuages

STEPHEN MENDE • DAVIS SENTMAN • EUGENE WESCOTT

Les physiciens observent une curieuse activité électrique au-dessus des nuages, par temps d'orage.

La foudre a toujours intimidé et fasciné. Les Grecs, par exemple, attribuaient la maîtrise de la foudre à Zeus, le roi des dieux. Encore aujourd'hui, on la redoute, parce qu'on ne la maîtrise pas... et qu'on la connaît mal. Ainsi de nombreuses personnes avaient décrit des scintillations bizarres du ciel nocturne : certaines semblaient être des aurores ou des nuages étrangement illuminés, mais d'autres étaient plus mystérieuses ; notamment, des pilotes d'avion avaient observé des éclairs au-dessus des orages. La communauté scientifique méprisait ces comptes rendus jusqu'en 1990, quand John Winckler et ses collègues de l'Université du Minnesota filmèrent un de ces énigmatiques phénomènes à l'aide d'une caméra vidéo : les images révélaient des éclairs d'un type nouveau.

Comment expliquer ces phénomènes électriques de haute altitude ?

Des centaines d'observations, à partir de la navette spatiale, d'avions et du sol ont montré que les effets électriques analogues aux éclairs ne sont pas confinés aux couches de l'atmosphère comprises entre les nuages et le sol : des décharges électriques se produisent régulièrement dans l'air raréfié jusqu'à 90 kilomètres au-dessus des nuages orageux.

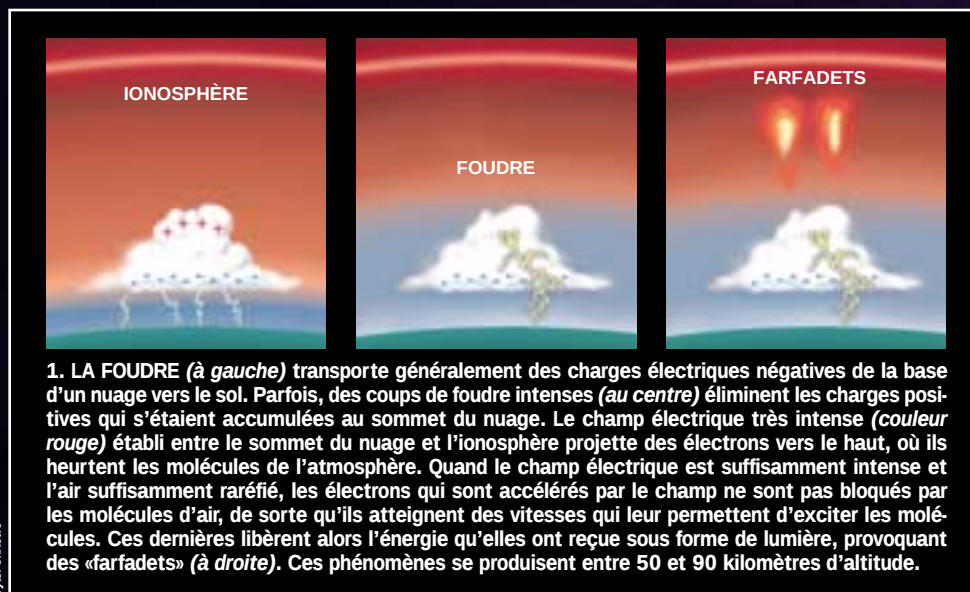
Pourquoi ces phénomènes, souvent visibles à l'œil nu, n'ont-ils pas été découverts plus tôt ? Et pourquoi devait-on s'étonner de l'existence d'une forme de foudre très haut dans l'atmosphère ? Les spécialistes de l'atmosphère savent depuis longtemps que, bien au-delà des régions turbulentes de l'atmosphère, les ultraviolets solaires heurtent les molécules de gaz et libèrent quelques électrons : ainsi se crée l'ionosphère, une couche électriquement conductrice autour de

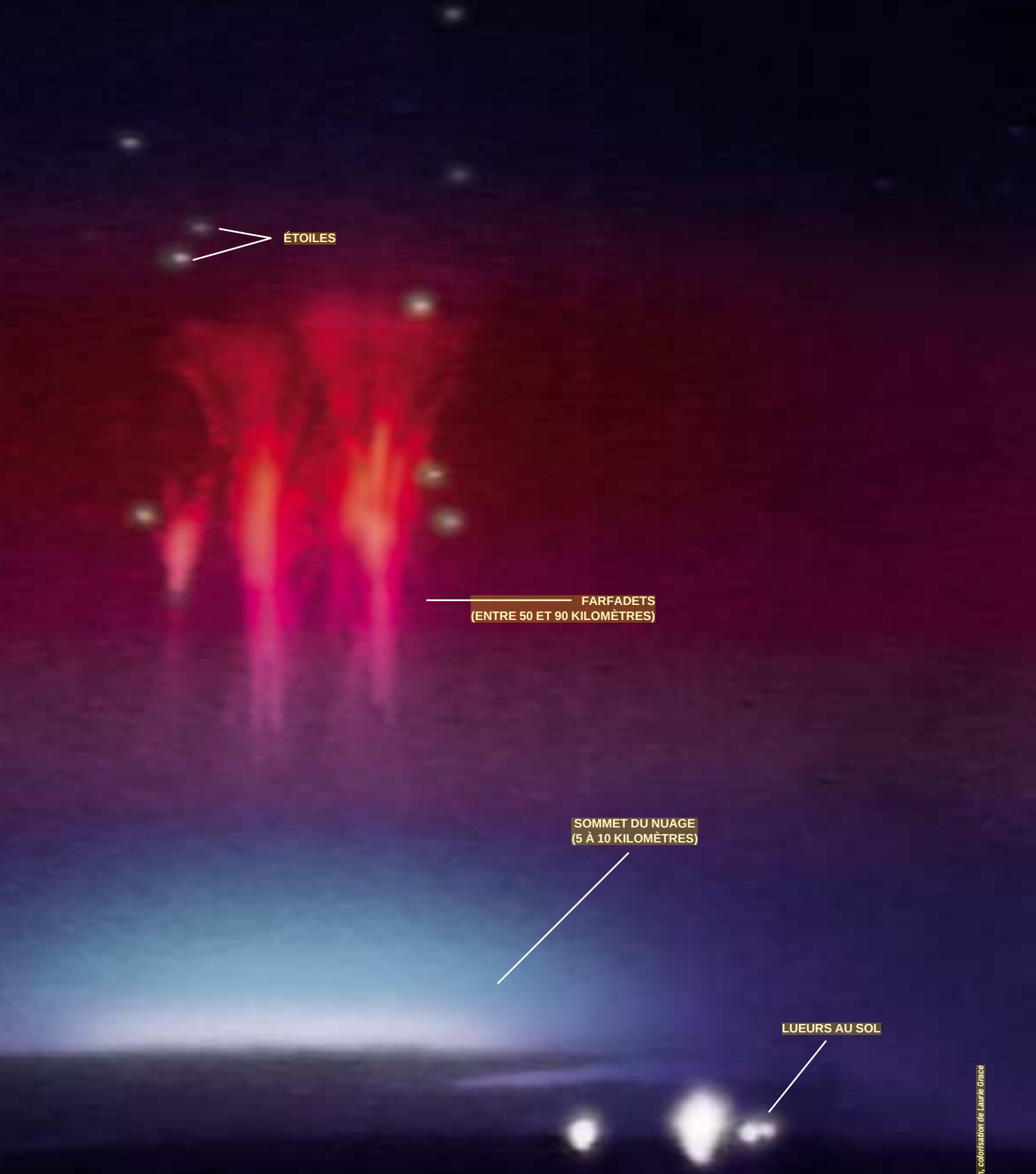
la Terre. Comme des différences de potentiel considérables peuvent s'établir entre les nuages d'orage et l'ionosphère, tout comme entre les nuages et le sol, la foudre peut se déclencher dans ces deux régions, quand l'air, ordinairement isolant, se dissocie et fournit un chemin conducteur que les courants électriques peuvent suivre.

Comme l'atmosphère se raréfie en altitude, les éclairs qui se produisent au-dessus des nuages dissocient moins de molécules d'air que la foudre classique : ils sont généralement rouges et peu visibles. De ce fait, les physiciens doivent utiliser des caméras vidéo sensibles pour les filmer dans la nuit. Malgré ces difficultés, la science des éclairs externes a considérablement progressé, au cours des dernières années.

Deux d'entre nous (D. Sentman et E. Wescott) ont organisé des campagnes de recherche aéroportées, tandis que nous étudions l'activité électrique de haute altitude à partir du sol.

Les événements électriques de la haute atmosphère sont de quatre types. Deux types de foudre d'altitude, nommées farfadets et elfes, sont, malgré leur nom fantasque, des manifestations atmosphériques bien comprises. Les causes des deux autres types, appelés jets bleus et événements gamma, demeurent plus mystérieuses, mais quelques équipes accumulent les observations dans l'espoir de les élucider.





2. LES FARFADETS sont des éclairs lumineux qui se produisent au-dessus des orages, dans une zone de l'atmosphère nommée mésosphère. Seuls certains orages en engendrent. Généralement les parties supérieures des nuages sont chargées positivement, et les parties inférieures négativement. Le plus souvent, la base négative du nuage produit un éclair vers le sol, mais, parfois, la partie supérieure posi-

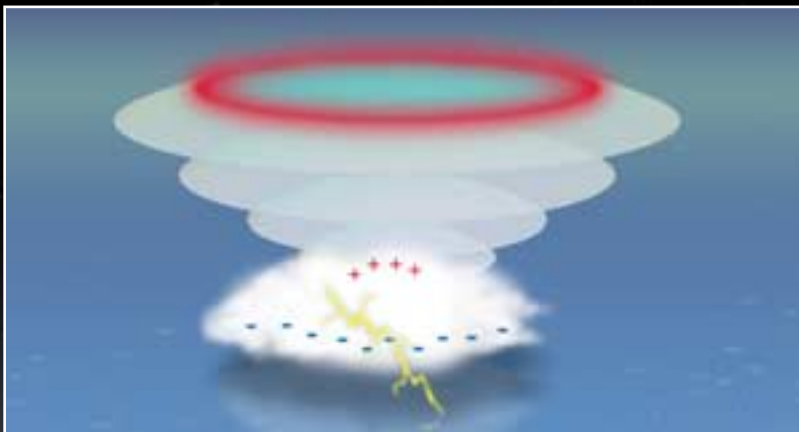
tive peut se décharger directement vers le sol, produisant un éclair d'une intensité exceptionnelle. En moyenne, un de ces coups de foudre sur 20 est assez énergétique pour produire des farfadets. Ces spécimens, filmés du sol par une caméra vidéo noir et blanc, ont été coloriés par ordinateur : ils ont, sur l'image, la même couleur que celle que l'on observe d'avion.



Stephen B. Mende

3. LES ELFES, comme les farfadets, sont des manifestations à haute altitude des champs électriques créés par une foudre exceptionnellement intense. Ils se présentent sous la forme de crêpes lumineuses (*ci-dessous*, à droite, on leur a donné la couleur qu'ils ont en réalité). Les elfes peuvent se produire avec les farfadets, mais ils se forment les premiers et subsistent moins longtemps. La série

d'images vidéo (*ci-dessus*) montre l'apparition d'un elfe : juste avant l'éclair, le ciel est uniformément sombre (a). L'éclair illumine le toit nuageux et produit immédiatement la lueur aplatie des elfes dans la mésosphère (b). Peu après, des farfadets jaillissent dans cette partie de l'atmosphère, ajoutant leur éclat à la faible lueur de la couche lumineuse (c). Enfin, seuls les elfes subsistent (d).



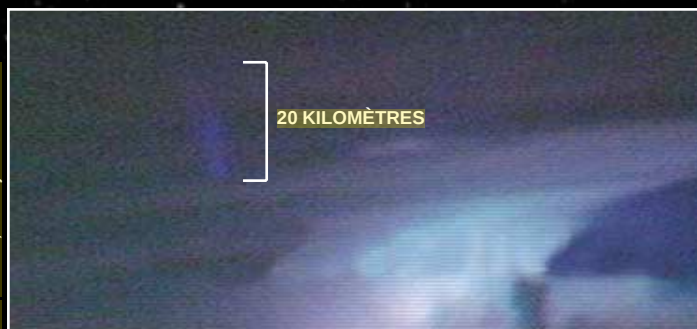
Bryan Christie

4. LES IMPULSIONS ÉLECTROMAGNÉTIQUES associées aux plus gros éclairs engendrent des elfes. Ces impulsions, qui sont des explosions de champ électromagnétique, sont libérées par la foudre à la vitesse de la lumière dans toutes les directions. Quand la partie ascendante de l'impulsion (*calottes sphériques*) atteint une altitude suffisante (75 à 100 kilomètres), le champ électrique accélère les électrons. Ces derniers heurtent des molécules d'air, leur communiquant une énergie qui, lors de la désexcitation, engendre une émission de lumière. Ce mécanisme crée des anneaux lumineux en expansion qui s'élargissent si rapidement qu'ils apparaissent comme des disques aplatis.



Stephen B. Mende

Bryan Christie



5. LES JETS BLEUS, confinés dans la partie inférieure de l'atmosphère, à environ 40 kilomètres d'altitude, sont d'observation difficile. Une image en couleurs (à gauche) montre que la lumière bleu sombre des jets bleus se propage peu dans l'atmosphère, contrairement aux farfadets et aux elfes, qui sont rouges. Pour les observer, on doit s'élever au-dessus des couches inférieures de l'atmosphère. D. Sentman et E. Wescott ont filmé ces cônes de lumière bleue pour la première fois en volant au-dessus d'un très gros orage, dans l'Arkansas, en 1994. Cette suite d'images vidéo (a-d) prises par une caméra monochromatique sensible montre comment les jets bleus sont émis à partir du sommet des nuages d'orage, à des vitesses d'environ 120 kilomètres par seconde. On ignore encore les mécanismes détaillés de leur formation.

6. LES ÉMISSIONS de rayonnements gammas et X, au-dessus des orages, constituent les phénomènes électriques de haute altitude les plus étonnants. Leur existence ne fut découverte que récemment par l'un des instruments de l'Observatoire Compton (à gauche), qui a détecté des rayonnements gamma provenant de la Terre. On savait que les rayonnements gamma étaient produits par diverses sources cosmiques ou par des réactions nucléaires, mais on n'imaginait pas qu'on en trouverait dans l'atmosphère terrestre. Dans les farfadets, par exemple, les électrons atteignent rarement des énergies supérieures à 20 électronvolts (l'énergie qu'un électron gagne quand il est accéléré par une différence de potentiel de 20 volts), alors que les rayonnements gamma correspondent à des énergies atteignant un million d'électronvolts ! L'étude des événements gamma commence seulement.

Stephen MENDE, David SENTMAN et Eugene WESCOTT étudient l'activité électrique de l'atmosphère à l'Université de Fairbanks.

G.J. FISHMAN, P.N. BHAT, R. MALLOZZI, J.M. HORACK, T. KOSHUT, C. KOUVELIOTOU, G.N. PENDLETON, C.A. MEEGAN, R.B. WILSON, W.S. PACIESAS, S.J. GOODMAN et H.J. CHRISTIAN, *Discovery of Intense Gamma-Ray Flashes of Atmospheric Origin*, in *Science*, vol. 264, pp. 1313-1316, 27 mai 1994.

D.D. SENTMAN, E.M. WESCOTT, D.L. OSBORNE, D.L. HAMPTON et M.J. HEAVNER, *Preliminary Results from the Sprites94 Aircraft Campaign*,

1: Red Sprites, in *Geophysical Research Letters*, vol. 22, n° 10, pp. 1205-1208, 15 mai 1995.

E.M. WESCOTT, D. SENTMAN, D. OSBORNE, D. HAMPTON et M. HEAVNER, *Preliminary Results from the Sprites94 Aircraft Campaign*, *2: Blue Jets*, in *Geophysical Research Letters*, vol. 22, n° 10, pp. 1209-1212, 15 mai 1995.

H. FUKUNISHI, Y. TAKAHASHI, M. KUBOTA, K. SAKANOI, U.S. INAN et W.A. LYONS, *Elves: Lightning-Induced Transient Luminous Events in the Lower Ionosphere*, in *Geophysical Research Letters*, vol. 23, n° 16, pp. 2157-2160, 1^{er} août 1996.