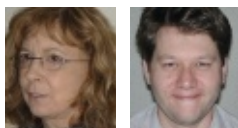


LES AUTEURS



Elisabeth BLANC et Thomas FARGES sont géophysiciens à la Direction des applications militaires du CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives), à Arpajon.

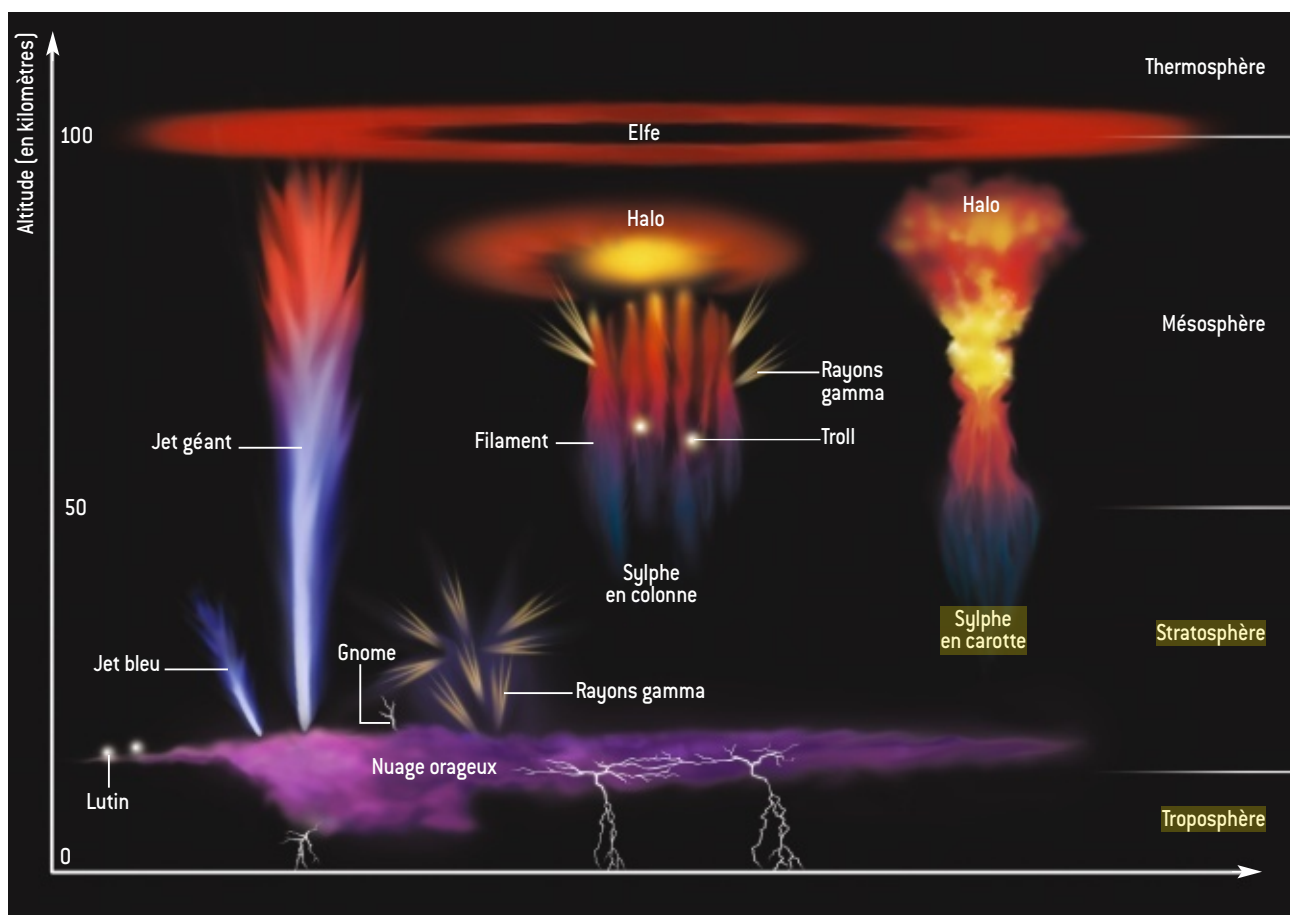
✓ SUR LE WEB

Le blog des observations en Europe d'émissions lumineuses transitoires au-dessus des orages : eurosprite.blogspot.fr

lumineux au-dessus des orages. Les sylphes durent quelques millisecondes et s'étendent de 30 kilomètres au dessus des nuages jusqu'à 90 kilomètres d'altitude environ. Ils apparaissent souvent en groupes. Certains ont une forme de carotte : un halo diffus, entre 70 et 85 kilomètres d'altitude, s'étend latéralement sur une distance de l'ordre de 40 à 70 kilomètres et se prolonge vers le bas par des structures en filaments. D'autres forment des colonnes qui semblent parfois se grouper en cercles. Les sylphes apparaissent généralement après les éclairs dits positifs – des éclairs qui, en fin d'orage, conduisent vers le sol des charges positives. Les halos peuvent aussi apparaître seuls.

Les sylphes ne sont pas seulement lumineux. Notre équipe a montré en reliant des enregistrements acoustiques à des images de sylphes que ces derniers s'accompagnent d'ondes acoustiques de basses fréquences – des infrasons –, parfois pen-

dant plusieurs dizaines de secondes. Très longs par rapport à la durée d'émission lumineuse des sylphes (quelques millisecondes), ces temps correspondent à celui que met le son pour parcourir l'étendue horizontale des sylphes (la vitesse du son est d'environ 330 mètres par seconde). Ces infrasons sont plus longs que les sons émis par les éclairs, qui ne durent que quelques secondes. Ils sont cependant produits selon le même principe : tout le long de la décharge qui forme les filaments des sylphes, l'air s'échauffe (de un ou deux degrés seulement, mais dans un volume énorme – une dizaine de milliers de kilomètres cubes) et, par conséquent, se dilate, ce qui produit des ondes de choc. Nous avons détecté les infrasons des sylphes jusqu'à des distances de l'ordre de 1 000 kilomètres, tandis que les sons produits par les éclairs (le tonnerre), de fréquences supérieures, ne sont audibles que jusqu'à 50 kilomètres environ.



1. UN ORAGE ET SES DIFFÉRENTES ÉMISSIONS : les éclairs, les événements lumineux transitoires (jets, sylphes, elfes, trolls, lutins, gnomes) et les flashes gamma d'origine terrestre. La plupart des événements lumineux transitoires sont émis à la suite des décharges électriques qui se produisent dans les nuages d'orage. Juste au-dessus, jusqu'à 40 kilomètres d'altitude, on observe des jets bleus qui, parfois, se prolongent jusqu'à la base de l'ionosphère (jets géants). Entre 40 et 85 kilomètres d'altitude,

des sylphes se forment à haute altitude dans des halos et se prolongent vers le sol par des filaments. Diverses formes sont observées, notamment selon la qualité de l'enregistrement. À la base de l'ionosphère (atmosphère supérieure, entre 90 et 600 kilomètres), enfin, apparaissent les elfes – les plus nombreux de ces événements. Les trolls, lutins et gnomes sont des émissions trop rares pour être étudiées. Des flashes gamma d'origine terrestre sont également détectés au-dessus des orages.

D'autres phénomènes lumineux ont été observés à diverses altitudes. Les elfes sont des disques lumineux qui s'étendent horizontalement sur plusieurs centaines de kilomètres à des altitudes de l'ordre de 90 kilomètres et à une vitesse proche de celle de la lumière. Plus nombreux que les sylphes, les elfes apparaissent après tous les types d'éclairs. Ils éclairent moins d'une milliseconde.

Les jets bleus surgissent au sommet des nuages sous la forme de cônes étroits durant environ 100 millisecondes. La plupart s'arrêtent à 40 kilomètres d'altitude environ, mais certains jets, dits géants, forment une connexion électrique directe entre le nuage de l'orage et la base de l'ionosphère.

Une ionisation locale de l'ionosphère

Toutes ces émissions n'agissent pas de la même façon sur l'atmosphère, ce qui renseigne sur leurs propriétés énergétiques : les filaments des sylphes et les jets géants chauffent, voire ionisent l'atmosphère qu'ils traversent, les elfes ionisent, la base de l'ionosphère lors de leur formation, tandis que les halos restent sans effet. Ces derniers sont donc des émissions lumineuses moins énergétiques.

Les sylphes, les jets et les elfes sont les structures les plus fréquemment observées – et les plus faciles à voir, car elles sont suffisamment éloignées des nuages orageux pour ne pas être masquées par la lumière des éclairs. Des systèmes semi-automatiques peuvent ainsi en enregistrer à plusieurs centaines de kilomètres à l'horizon. Toutefois, il existe aussi d'autres émissions de plus petite taille dans la partie inférieure des filaments des sylphes et au sommet des nuages. Nommées gnomes, trolls ou lutins, ces émissions ne peuvent faire l'objet d'une observation systématique du fait de leur proximité des orages.

En analysant les caractéristiques des différentes émissions (altitude, durée, spectre, forme, etc.), diverses équipes, dont la nôtre, commencent à élucider certains mécanismes intervenant dans leur formation. Les elfes font partie des phénomènes les mieux compris. Ils se produisent après tous les éclairs dépassant un certain seuil énergétique. Ces éclairs engendrent une impulsion électromagnétique très intense qui se propage jusqu'à l'ionosphère et chauffe les électrons ambiants de l'ionosphère inférieure. Accélérés par ce



2. UN JET GÉANT observé lors d'un orage sur l'île de La Réunion.

chauffage, les électrons acquièrent une énergie cinétique suffisante pour interagir avec les molécules de l'air, ce qui produit une émission lumineuse et une ionisation locale de l'atmosphère : chaque molécule d'air ionisée produit un ou deux électrons, qui ionisent à leur tour les molécules d'air voisines, etc. Cette ionisation locale de l'atmosphère persiste pendant plusieurs dizaines de secondes.

La forme des elfes – un disque de lumière qui s'élargit – est sans doute due au fait que, les molécules d'air se raréfiant dans les couches supérieures de l'ionosphère, les réactions de proche en proche entre les électrons et les molécules de l'air restent principalement cantonnées dans la couche inférieure de l'ionosphère.

Les jets s'expliquent seulement par la présence des champs électrostatiques de l'orage. Les jets géants peuvent être comparés à des décharges reliant directement le nuage et l'ionosphère au lieu du sol comme on le voit pour un éclair classique.

Les sylphes, quant à eux, ne se produisent qu'après les éclairs positifs. Ces éclairs

BIBLIOGRAPHIE

M. Tavani *et al.*, Terrestrial gamma-ray flashes as powerful particle accelerators, *Phys. Rev. Let.*, vol. 106, 018501, 2011.

E. Blanc, Space observations of transient luminous events and associated emissions in the upper atmosphere above thunderstorm areas, *C. R. Geoscience*, vol. 342, pp. 312-322, 2010.

T. Neubert *et al.*, Recent results from studies of electric discharges in the mesosphere, *Surv. Geophys.*, vol. 29, pp. 71-137, 2008.

J. Dwyer, Les éclairs radiographiés, *Pour la Science*, n° 332, pp. 80-87, 2005.