

# Nous vivons à l'intérieur d'un circuit électrique

Lorsque les gens entendent l'expression *météo spatiale*, ils pensent peut-être aux éruptions solaires perturbant les satellites ou aux aurores scintillant dans la nuit polaire. Mais au fond, la météo spatiale n'est rien de plus exotique que le comportement des particules chargées s'écoulant du Soleil.

Les couches externes du Soleil sont un plasma bouillonnant : si chaud que les électrons et les protons ne restent plus liés dans les atomes, mais se déplacent librement. Comme un filament colossal dans un tube à vide, le Soleil émet constamment ce fluide électriquement conducteur appelé **vent solaire**. Il s'écoule à travers le système solaire à des centaines de kilomètres par seconde, transportant avec lui des électrons, des protons, des particules alpha et des champs magnétiques entrelacés.

Les sondes spatiales au point L1 – à un million de kilomètres en amont de la Terre – mesurent le vent solaire en temps réel. Elles nous indiquent combien d'électrons, de protons et d'ions plus lourds arrivent, et à quelle vitesse. Dans des conditions calmes, le vent a tendance à présenter un léger excès d'électrons, de sorte que l'espace interplanétaire porte une charge légèrement négative en arrière-plan.

Lorsqu'une **éjection de masse coronale (CME)** explose depuis le Soleil, l'équilibre change. D'énormes bulles de plasma et de champ magnétique balayent l'espace et entrent en collision avec le bouclier magnétique de la Terre. Aux pôles, une partie de cette énergie est canalisée vers le bas le long des lignes de champ magnétique, excitant les atomes d'oxygène et d'azote en rideaux lumineux verts et rouges : l'**aurore boréale** dans l'hémisphère nord, et l'**aurore australe** dans l'hémisphère sud.

La Terre est baignée dans cet environnement depuis des milliards d'années. Les corps conducteurs immergés dans le plasma ne restent pas neutres ; ils accumulent une charge. Au fil du temps géologique, la Terre s'est stabilisée sur un **potentiel électrique légèrement négatif par rapport à son environnement spatial**.

Cette prise de conscience marque notre transition de l'espace au ciel : si la Terre est négative et que l'espace au-dessus est baigné d'électrons et de protons, comment l'équilibre des charges se joue-t-il dans l'atmosphère elle-même ? La réponse est l'**ionosphère**.

## L'ionosphère et le champ de beau temps

L'**ionosphère** commence à environ 50 km d'altitude et s'étend sur des centaines de kilomètres. Là, la lumière ultraviolette solaire et les particules entrantes arrachent les électrons des atomes, laissant un gaz dilué d'ions. Pour nous, au sol, l'air semble être un iso-

lant. Mais avec l'altitude, l'ionisation augmente rapidement, et la conductivité croît de plusieurs ordres de grandeur.

L'ionosphère a été découverte dans les années 1920, non par des physiciens, mais par des ingénieurs radio. Edward Appleton et ses collègues ont remarqué que les ondes radio voyageaient parfois bien au-delà de l'horizon. Les signaux rebondissaient sur une couche conductrice en altitude – ce que nous appelons maintenant les **couches E et F** de l'ionosphère. Ce « miroir dans le ciel » a rendu possible la radiodiffusion mondiale, et le travail d'Appleton lui a valu un prix Nobel.

Mais au-delà de la radio, l'ionosphère a une signification plus profonde. Imaginez la Terre comme une sphère conductrice portant une charge négative, et l'ionosphère comme une coquille chargée positivement à des dizaines de kilomètres d'altitude. Entre elles se trouve l'atmosphère : ni un vide parfait, ni un isolant parfait, mais un diélectrique qui fuit. Ensemble, elles forment un **condensateur sphérique**, chargé à environ **+250 000 volts**.

Au sol, ce potentiel apparaît comme le **champ électrique atmosphérique de beau temps** : environ **+100 à +300 volts par mètre**, dirigé vers le bas. En d'autres termes, l'ionosphère positive attire les électrons vers le haut, laissant la surface relativement négative. Comme l'air devient plus conducteur avec l'altitude, la majeure partie de cette chute de tension se produit dans les 10 à 15 km les plus bas – la **troposphère**, où se trouvent tous les nuages et la météo.

Dans des conditions calmes, ce champ est stable, modulé uniquement par le rythme mondial de toutes les tempêtes du monde – un cycle quotidien appelé **courbe de Carnegie**. Cette base tranquille prépare toutefois le terrain pour le drame des orages.

## Les orages comme machines électriques

À l'intérieur d'un nuage cumulonimbus en croissance, des trillions de particules de glace et de gouttelettes entrent en collision. Chacune porte des ions :  $H^+$  et  $OH^-$ , constamment présents dans l'eau. Le champ électrique ambiant influence la manière dont ces charges se déplacent. Les petits cristaux de glace ont tendance à acquérir une charge positive et sont emportés vers le haut par les courants ascendants, tandis que les grêlons plus lourds accumulent une charge négative et descendent vers les niveaux intermédiaires.

Le résultat est une **structure tripolaire** :

- Une **région de charge négative principale** autour de 4 à 7 km,
- Une **région positive** au sommet du nuage (10 à 12 km),
- Parfois une **couche positive secondaire** près de la base.

Cette séparation reflète une célèbre expérience du XIX<sup>e</sup> siècle. En 1867, *Lord Kelvin* – mieux connu pour l'échelle de température thermodynamique – a construit un dispositif utilisant uniquement de l'eau gouttant, des anneaux et des seaux. Le **générateur de gouttes d'eau de Kelvin** exploitait de petits déséquilibres ioniques dans les gouttes tombantes.

Grâce à une induction astucieuse, ces fluctuations se renforçaient jusqu'à ce que des étincelles de milliers de volts jaillissent de l'appareil.

L'appareil de table de Kelvin était un orage en miniature. Les nuages sont simplement des versions plus grandes de la même usine de charge, alimentée par la gravité, la convection et les collisions.

La plupart des éclairs que nous voyons proviennent de la couche intermédiaire négative qui se décharge vers le sol. Mais parfois, la région positive supérieure libère sa charge. Ces **éclairs positifs** sont bien plus puissants, transportant des courants plus importants et s'étendant sur des dizaines de kilomètres latéralement – les tristement célèbres « éclairs tombés du ciel ». Rares mais mortels, ils sont l'inverse du champ de beau temps : le sommet positif du nuage se décharge directement vers la Terre.

Chaque orage agit ainsi comme un **générateur**, pompant une charge positive vers l'ionosphère et une charge négative vers le sol. Collectivement, les quelque 2 000 tempêtes actives de la Terre maintiennent le potentiel global de 250 kV, reconstituant ce qui sinon s'échapperait. Les orages ne sont pas seulement des événements météorologiques ; ce sont les **centrales électriques du circuit électrique de la planète**.

## Les orages s'étendant dans l'espace

Pendant des siècles, on pensait que les éclairs étaient confinés sous la base des nuages. Mais le circuit fonctionne dans les deux sens. Les tempêtes se déchargent également **vers le haut**, vers l'ionosphère, parfois jusqu'à l'espace proche.

Dans les années 1990, des satellites à la recherche de sursauts de rayons gamma cosmiques ont détecté quelque chose d'inattendu : des flashes de rayons gamma de quelques millisecondes provenant de la Terre elle-même. Ces **flashes de rayons gamma terrestres (TGFs)** sont produits lorsque les champs électriques au sommet des tempêtes accélèrent les électrons à des vitesses quasi relativistes, les faisant s'écraser contre les molécules d'air et émettant des rayons gamma. Un orage devient un **accélérateur de particules naturel**, rivalisant avec les machines fabriquées par l'homme.

Bien avant que les satellites ne confirment cela, des pilotes à haute altitude murmuraient à propos d'étranges lumières : des lueurs rouges, des cônes bleus, des anneaux semblables à des halos au-dessus des tempêtes. Les pilotes de U-2 dans les années 1950 ont peut-être été parmi les premiers à les voir, mais leurs rapports ont été rejetés comme des illusions optiques. Ce n'est qu'à la fin du XXe siècle que les caméras les ont capturées :

- **Sprites rouges** : d'immenses décharges en forme de méduse atteignant 80 à 90 km.
- **Jets bleus** : des cônes bleus étroits depuis les sommets des tempêtes jusqu'à 50 km.
- **Elfes** : des anneaux rouges expansifs à 90 km, causés par les impulsions électromagnétiques des éclairs.

Ensemble, ce sont des **événements lumineux transitoires (TLEs)** – les éclairs cachés du ciel, reliant les tempêtes à l'ionosphère. Ils prouvent que les orages ne sont pas locaux

mais des acteurs globaux, injectant de l'énergie et des particules vers le haut, perturbant la propagation radio, les orbites des satellites, voire les ceintures de rayonnement.

Nous avons commencé avec la météo spatiale comme quelque chose d'imposé à la Terre. Maintenant, nous voyons l'inverse : **la Terre elle-même génère la météo spatiale**, à travers le travail de ses tempêtes.

## Vivre à l'intérieur du circuit

À présent, le schéma est clair : la Terre, l'ionosphère et l'espace sont liés dans un circuit électrique mondial. Pourtant, ce sujet tombe maladroitement entre les disciplines.

- Les **astronomes et physiciens spatiaux** se concentrent sur les tempêtes solaires et les magnétosphères.
- Les **météorologues** étudient les nuages, les précipitations et les éclairs au sol.
- Les **géophysiciens** enquêtent sur les tremblements de terre et les volcans, qui perturbent également les champs électriques.

Le résultat est que l'électricité atmosphérique passe entre les mailles du filet. Les rapports météorologiques standard indiquent la température, la pression, le vent et l'humidité – mais pas le **champ atmosphérique statique**, bien qu'il puisse être mesuré avec un simple moulin à champ.

## Pourquoi le mesurer ?

Nous avons déjà des modèles. Les réseaux d'éclairs (Blitzortung, ALDIS, EUCLID) montrent l'activité des tempêtes en temps réel en suivant les **sferics**, les impulsions radio des éclairs. Pourquoi ne pas construire la même chose pour les **champs électriques statiques** ?

Un tel réseau pourrait :

- Donner des **avertissements précoces des éclairs positifs**, les impacts les plus dangereux.
- Suivre le **développement des tempêtes** : la croissance du champ signale la convection ; les inversions de polarité signalent la dissipation.
- Montrer le **couplage avec la météo spatiale**, reliant les CME et les rayons cosmiques aux champs au niveau du sol.
- Fournir une base scientifique pour les nombreux qui disent qu'ils peuvent « ressentir le temps » dans leur corps.

## L'appel aux observatoires

De nombreux observatoires mesurent déjà l'électricité atmosphérique, mais les données sont dispersées et cachées. Un effort mondial coordonné appelé **GLOCAEM** (Coordination mondiale des mesures de l'électricité atmosphérique) a été lancé il y a seulement quelques années, reliant environ 20 à 30 stations d'Europe, d'Asie, d'Afrique et des Amériques. Certains de ces sites – comme l'Observatoire Conrad en Autriche, Lomnický Štít en Slovaquie

et Eskdalemuir en Écosse – ont une longue histoire de surveillance continue du gradient de potentiel.

Mais contrairement aux réseaux d'éclairs comme Blitzortung, ces flux de données restent largement entre les mains des chercheurs. Des graphiques en temps réel existent, mais ils ne sont pas largement médiatisés ni conçus pour un usage public. Pour la plupart des gens – même les étudiants en physique – le champ atmosphérique reste invisible.

C'est l'écart : pas la mesure, mais l'accessibilité. Ce qu'il faut, c'est la **traduction des archives scientifiques en tableaux de bord publics et en API ouvertes**, de la même manière que les réseaux de sferics ont rendu l'activité des tempêtes accessible à tous en direct. Une couche de science citoyenne au-dessus des réseaux de recherche existants pourrait boucler la boucle – transformant les graphiques cachés des observatoires en une « cinquième variable météorologique » vivante.

## Compléter le tableau

Nous vivons à l'intérieur d'un circuit électrique. La Terre est la plaque négative, l'ionosphère la positive, et les orages sont les générateurs. Les éclairs ne sont que le symptôme le plus visible. Les sprites, les jets, les rayons gamma et les courants de beau temps sont le reste.

Mettre cette dimension cachée de la météo sous les yeux du public – en ouvrant les données et en construisant des réseaux – compléterait notre compréhension du ciel. Cela nous donnerait de meilleurs outils de prévision, de nouvelles perspectives sur le climat et la santé, et restaurerait un sentiment d'émerveillement : la prise de conscience que le monde sur lequel nous marchons ne fait pas que tourner dans l'espace, mais brille, bourdonne et scintille à l'intérieur d'une machine électrique à l'échelle planétaire.