

Les fureurs du Soleil

Sur la Terre, on cherche à prévoir les caprices du temps, les ouragans, les tempêtes et les orages pour minimiser les dégâts qu'ils pourraient causer. On évacue les personnes lorsqu'un ouragan est annoncé, on lance des avis de tempête pour que les marins regagnent le port le plus proche, ou encore on décide d'avancer une récolte de quelques jours avant qu'un orage de grêle ne la détruise.

Pourquoi s'intéresse-t-on à la météorologie de l'espace? Parce que pendant les éruptions du Soleil, les perturbations subies par l'atmosphère ont parfois de lourdes conséquences sur les réseaux électriques, sur les satellites, sur les composants électroniques miniaturisés ou encore sur les astronautes.

Trois types de perturbations sont en cause : des ondes électromagnétiques, telles des bouffées de rayonnements ultraviolet et X sont émises ; des particules accélérées sont éjectées en masse, tels des protons, des électrons et des noyaux d'atomes ionisés ; enfin, le vent solaire (un flux de particules chargées) est perturbé et des ondes de choc interplanétaires lors d'une éjection coronale, s'y propagent. Les éruptions ayant lieu dans les régions actives qui entourent les taches solaires engendrent de grandes variations du flux des rayonnements ultraviolet et X. De plus, ces mêmes éruptions créent les variations du vent solaire et des ondes de choc interplanétaires. En revanche, on ignore encore l'origine précise des particules accélérées : sont-elles accélérées par le Soleil ou par l'onde de choc interplanétaire? Les astrophysiciens en débattent.

Aujourd'hui, l'un des enjeux des astrophysiciens est de prévoir ces éruptions solaires. James Burch (voir *Éjections coronales et tempêtes spatiales*, page 46) examine ici les mécanismes des éjections coronales, tandis que Pierre Lantos et Tahar Amari (voir *Éruptions solaires et météorologie de l'espace*, page 54) s'intéressent aux éruptions solaires et à leurs conséquences. À défaut de pouvoir éliminer les sautes d'humeur du Soleil, on les surveille étroitement et on cherche à les prévoir.

Lors des éruptions du Soleil, les particules et les rayonnements émis ont parfois des conséquences néfastes sur les circuits électriques et sur les dispositifs électroniques à terre ou embarqués sur les avions et, *a fortiori*, à bord des satellites et des navettes spatiales. L'enjeu des astrophysiciens est aujourd'hui de prévoir ces éruptions pour en évaluer les conséquences possibles et tenter de les minimiser. Les principaux équipements menacés par les éruptions solaires (*en bleu*) et les éjections coronales (*en vert*) ont été rassemblés dans ce tableau (les perturbations découvertes le plus récemment, en 2000, sont indiquées dans le haut du tableau, les plus anciennes, découvertes vers 1960, figurent en bas).

Les conséquences des fureurs du Soleil

Rayonnements X et ultraviolets

Particules solaires

- Constellations de satellites
- Surveillance du lancement des satellites
- Systèmes de localisation et altimétrie
- Risques liés aux rayonnements (avions)
- Rentrée des satellites dans l'atmosphère
- Électronique embarquée (satellites et avions)
- Phénomènes de charges dans les satellites géostationnaires
- Explorations en géophysique
- Réseau de distribution de l'électricité
- Câbles téléphoniques
- Panneaux solaires de satellites
- Risques d'irradiation des astronautes
- Télécommunications avec les sous-marins
- Radars transhorizon
- Préviation de l'orbite des satellites
- Télécommunications par ondes courtes

Particules de la magnétosphère

Activité géomagnétique

Éjections coronales et tempêtes spatiales

JAMES BURCH

Les éruptions de la couronne du Soleil déclenchent parfois de violentes turbulences autour de la Terre. Grâce à une nouvelle sonde, on comprend mieux comment naissent les tempêtes spatiales.

La tempête a commencé le 14 juillet 2000, quand les astrophysiciens du Centre d'environnement spatial de Boulder, dans le Colorado, ont détecté un signal d'alerte émis par le satellite GOES-8, chargé de surveiller les rayons X émis par le Soleil. À 10 heures 03 (temps universel), la densité des rayons X émis par une région du Soleil particulièrement active depuis une semaine, augmente brusquement, signe de l'imminence d'une éruption solaire, une émission brève et intense de rayonnement. Cette éruption atteint son maximum d'intensité 20 minutes plus tard, et le satellite SOHO (*Solar and Heliospheric Observatory*, Observatoire du Soleil et de l'héliosphère), éloigné de un million et demi de kilomètres de notre planète, suit son évolution. Une demi-heure plus tard, tandis que l'éruption se calme, SOHO détecte un phénomène plus inquiétant : un nuage brillant grossit et forme un halo autour du Soleil. Il s'agit d'une «éjection coronale», une éruption de la couronne solaire (l'atmosphère externe du Soleil) qui projette dans l'espace des milliards de tonnes de particules chargées électriquement. La forme du halo indique que les particules se dirigent droit sur la Terre, à une vitesse de l'ordre de 1 700 kilomètres par seconde.

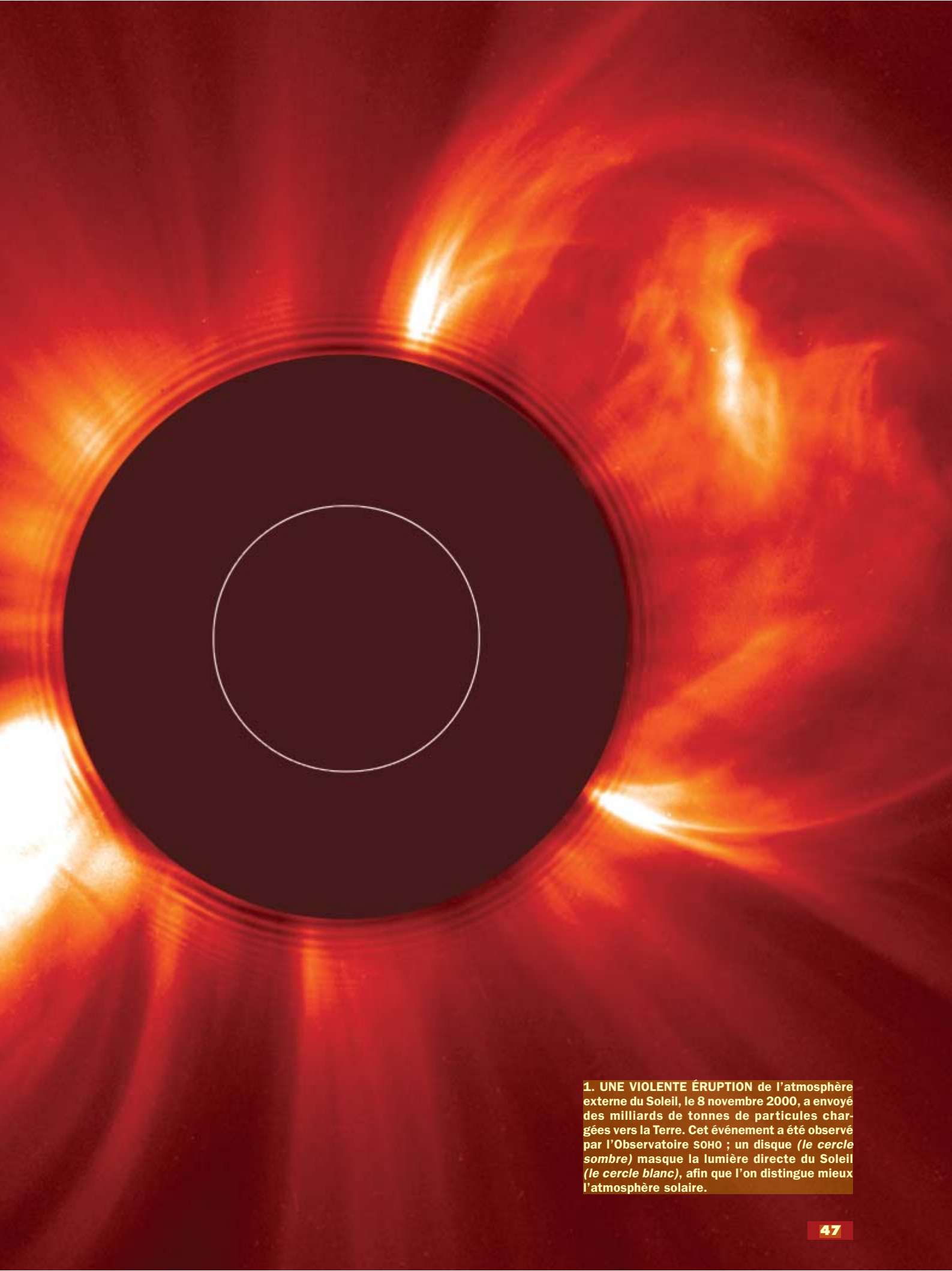
L'éjection coronale rattrape le vent solaire, le flux de gaz ionisé qui s'échappe en permanence du Soleil, ce qui engendre une onde de choc, laquelle accélère encore davantage certaines des particules. Moins d'une heure plus tard, un déluge de protons de haute

énergie s'abat sur SOHO, et perturbe tant les instruments embarqués, qu'aucun signal n'est émis pendant quelques minutes. Ce bombardement endommage les panneaux solaires de la sonde, faisant autant de dégâts en 24 heures que le rayonnement solaire n'en fait en une année. Pourtant, ce torrent de particules n'est que la ligne avancée de la tempête. L'onde de choc de l'éjection coronale arrive le lendemain, et frappe de plein fouet le champ magnétique terrestre. Cet impact provoque un violent orage géomagnétique, qui se déchaîne quelques heures plus tard avec l'arrivée de l'éjection coronale elle-même. Sur l'échelle utilisée par le Centre de l'environnement spatial pour mesurer l'intensité de l'activité géomagnétique, la tempête du 14 juillet 2000 a été le plus intense de tous les événements de ce type enregistrés durant les années 1990.

Sur la Terre, rares sont ceux qui ont suivi ces feux d'artifice célestes hormis les astrophysiciens, qui ont observé cet orage grâce aux images recueillies par le satellite IMAGE, lancé quatre mois plus tôt par la NASA. Ce satellite est le premier qui fournit des images globales de la magnétosphère, la région de l'espace protégée en partie des activités solaires par le champ magnétique terrestre : ce champ magnétique crée une sorte de cocon autour de la Terre, qui nous isole du milieu interplanétaire.

Au cours de l'orage du 14 juillet 2000, l'arrivée des particules chargées sur la haute atmosphère terrestre a provoqué une extraordinaire aurore boréale. Grâce aux données recueillies par le satellite

NASA/ESA, SOHO/Lasco consortium



1. UNE VIOLENTE ÉRUPTION de l'atmosphère externe du Soleil, le 8 novembre 2000, a envoyé des milliards de tonnes de particules chargées vers la Terre. Cet événement a été observé par l'Observatoire SOHO ; un disque (*le cercle sombre*) masque la lumière directe du Soleil (*le cercle blanc*), afin que l'on distingue mieux l'atmosphère solaire.