

ORAGE MAGNÉTIQUE DES 10-12 MAI 2024

Frédéric Pitout, Observatoire Midi-Pyrénées / Université Toulouse 3 – Paul Sabatier
Institut de recherche en astrophysique et planétologie

Nous aurions voulu le faire, nous n'y serions évidemment pas parvenus : alors que nous préparions ce numéro avec un dossier sur les relations Soleil-Terre et la météorologie de l'espace, une série de violentes

éruptions et d'éjections de matière solaire est parvenue jusqu'à la Terre, provoquant l'orage géomagnétique le plus intense depuis 2003. Cela valait bien un court article, même au débotté.



Fig.1. L'aurore boréale du 10 mai 2024 photographiée depuis l'Île de Ré (photo Xavier Plouchard, animateur scientifique, Muséum d'histoire naturelle de La Rochelle. Pose 4 s 800 ISO Focale de 20 mm ouvert à 2).



Fig.2. Cazelle de Nouvelle (Lot) 4 h, 11 mai pose 2 s 5 000 ISO (Raphaël Melac).

C'est inhabituel parce que rare, le ciel de la France métropolitaine s'est illuminé les nuits du 10 au 12 mai dernier. Des aurores rouges, mauves et même vertes ont été vues un peu partout, signe de l'intensité du phénomène. Rappelons que plus un orage géomagnétique est intense, plus des aurores sont visibles à basses latitudes. Mais au fait, qu'appelle-t-on orage (géo)magnétique ? Et qu'est-ce qui a fait que celui-ci était si intense. Pour le comprendre, il faut remonter le cours du vent solaire jusqu'au Soleil et remonter dans le temps quelques jours auparavant.

Un Soleil proche de son pic d'activité et sous surveillance

Barbara Perri et Sacha Brun nous ont expliqué (voir ce numéro) que l'activité du Soleil présente une périodicité d'environ 11 ans et que nous sommes précisément proche du maximum. Signe de cette activité accrue, notre étoile présente actuellement de nombreuses taches sombres bien visibles en lumière blanche (c'est-à-dire sans sélection d'une couleur particulière) et des filaments (qui eux sont visibles grâce à des filtres qui ne laissent passer que l'émission H α de l'hydrogène) sur son disque, ainsi que des protubérances, parfois éruptives, sur ses limbes. En outre, les jours précédents l'orage géomagnétique, une grosse zone active était présente sur le disque solaire (figure 3). On pouvait donc s'attendre à ce que des événements extrêmes se produisent. C'est précisément ce qu'il s'est passé en mai dernier.

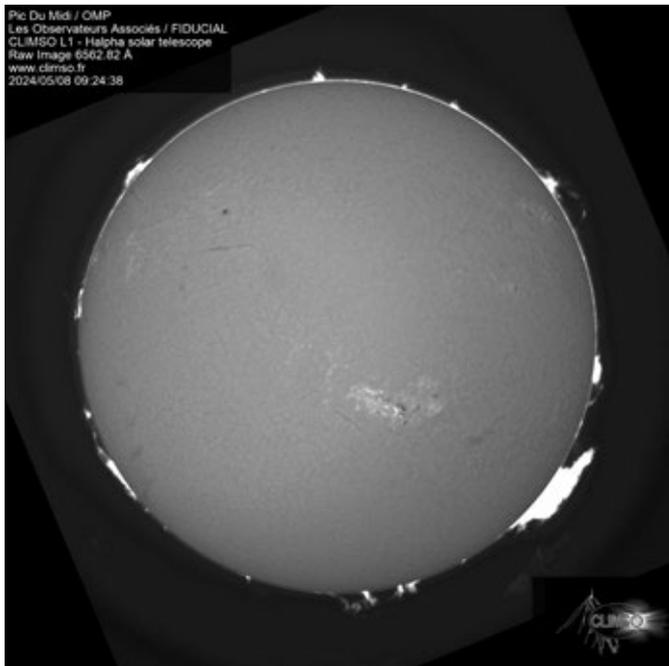


Fig.3. Soleil observé en lumière H α le 8 mai 2024 à 09:24 TU depuis l'observatoire du pic du Midi. Image composite provenant de la lunette solaire L1 et du coronographe C1 (OMP/OA).

Une succession de processus entre le Soleil et la Terre

Les jours qui ont précédé le 10 mai (au moins depuis le 6) des éruptions chromosphériques et des éjections coronales de masses (plus ou moins puissantes et pas toujours dirigées vers la Terre) se sont succédées. Le résultat est que le 10 mai à 16 h 34 TU, un vent solaire très dense et très rapide équivalent à une pression de presque 80 nPa (en période calme, la pression est aux alentours de 2-3 nPa) arrive au niveau de la sonde Dscovr au point de Lagrange 1. Les trois premiers panneaux de la figure 1 montre la concentration du vent solaire (en particules par cm 3), la vitesse du vent solaire (en km/s) et les 3 composants du champ magnétique interplanétaire dans un repère appelé *géocentrique solaire éclipstique* (GSE) et dont les directions sont : x vers le Soleil, y vers l'est et z la perpendiculaire au plan de l'écliptique pointant vers le nord.

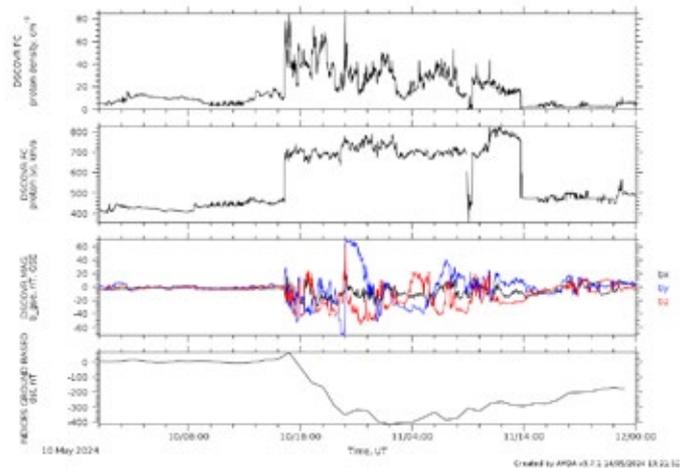


Fig.4. Paramètres du vent solaire mesurés par la sonde Dscovr entre le 10 mai 2024 à 00:00 TU et le 12 mai à 00:00 TU. Les quatre panneaux montrent, de haut en bas, la concentration de vent solaire en particules par cm 3 , la vitesse du vent solaire en km/s, les 3 composantes du champ magnétique interplanétaire dans le repère GSE et l'indice magnétique Dst.

Ces mesures prises en amont de la Terre, compte tenu de la vitesse du vent solaire et de la distance entre L1 et la Terre, nous parviennent environ 30 minutes avant que le vent solaire mesuré arrive effectivement au niveau de la Terre. Et rien qu'à voir les courbes, on pouvait savoir que le résultat dans notre environnement spatial allait être d'ampleur. Pourquoi ? Parce que le vent solaire et le champ magnétique interplanétaire qu'il transporte ont tous les ingrédients pour : la densité du vent solaire atteint 80 particules/cm 3 (en temps calme, c'est environ 5) ; la vitesse du vent solaire dépasse 700 km/s (environ 350 en période calme) ; le champ magnétique interplanétaire à une intensité de 60 nT (environ 5 en période calme) et surtout la composante nord-sud (ou Z, en rouge sur le graphique) très fortement négative. Cette valeur négative

est une condition nécessaire pour qu'il y ait une entrée massive de particules dans la magnétosphère terrestre via le processus de reconnexion magnétique (voir les numéros 141 et 142 des *Cahiers Clairaut*).

À 17 h 06 TU (soit 32 minutes après l'arrivée de la CME au niveau de Dscovr) : les magnétomètres au sol mesurent la variation du champ magnétique due à la compression de la magnétosphère. La compression de la magnétosphère provoque d'abord une intensification du courant circulant le long de la magnétopause puis une intensification du courant électrique annulaire qui circule d'est en ouest dans le plan de l'équateur magnétique terrestre (voir article de Gaël Cessateur dans ce numéro). Une augmentation de l'intensité du courant annulaire crée un champ magnétique dirigé vers le sud entre le courant et la Terre ; ceci est observé comme une baisse de la composante sud-nord du champ magnétique mesuré au niveau du sol. L'indice Dst (panneau du bas de la Figure 1) montre cette baisse après l'arrivée de la CME. C'est la phase d'orage magnétique qui dure typiquement quelques jours. Expliquons en quelques mots ce qu'est l'indice Dst. Au lieu de mesurer le champ magnétique au sol partout sur Terre, on le mesure à quelques stations de référence de part et d'autre de l'équateur magnétique et on fait une moyenne qui donne l'indice magnétique Dst (pour *disturbance storm time* soit « perturbation en temps d'orage »). En temps géophysiquement parfaitement calme, cet indice vaut 0. Pour une déviation jusqu'à -50 nT, on parlera d'orage faible ; entre -100 et -50 nT, d'orage modéré ; entre -200 et -100 nT, d'orage fort ; -350 et -200 nT, d'orage sévère ; et plus bas que -350 nT, de super orage. Le 11 mai 2024 autour de 3 h TU, le Dst a atteint la valeur de -412 nT. C'est colossal. La dernière valeur aussi grande (en valeur absolue) c'était en novembre 2003 pendant les orages dits d'Halloween (voir l'activité *du Soleil à la Terre* du hors-série 14 des *Cahiers Clairaut*). L'indice Dst avait alors atteint -422 nT. Lors de l'orage géomagnétique de mars 1989, qui avait provoqué une immense panne de courant au Québec, le Dst avait atteint -589 nT. Pour l'événement de Carrington qui a eu lieu en 1859, certaines estimations le situent à -1750 nT !

Quels effets ?

Les « humeurs » de notre étoile sont surveillées de près par les scientifiques qui cherchent à prévoir les événements solaires et comprendre leurs effets sur l'environnement spatial terrestre, mais aussi par des utilisateurs pour qui l'activité solaire peut poser des problèmes d'électronique à bord des satellites artificiels, de navigation (signaux GNSS dégradés pendant les orages magnétiques), de distribution d'électricité (les variations magnétiques

mesurées au sol produisent des courants électriques par induction), etc. En France, ces préoccupations relèvent de l'Organisation française pour la recherche applicative en météorologie de l'espace (Oframe).

Les effets les plus spectaculaires sont évidemment les aurores polaires qui ont été vues à des latitudes inhabituellement basses car les ovales auroraux se sont élargis et sont donc descendus à plus basses latitudes qu'à l'accoutumé. En Europe, on a vu des aurores jusqu'en Espagne ; il semble que des lueurs rouges aient été aperçues à l'horizon sud de La Réunion ; en Amérique elles sont descendues suffisamment bas en altitude pour être visible du Mexique. Il faut préciser que l'Amérique du Nord est privilégiée car le pôle géomagnétique se trouve au Nord du Canada, donc à latitude géographique équivalente à l'Europe par exemple, la latitude géomagnétique est sensiblement plus haute en Amérique du Nord. Par exemple, Toulouse et Toronto sont à peu près à la même latitude géographique (43,6° pour la ville rose, 43,7° pour la capitale de l'Ontario) mais pas du tout à la même latitude géomagnétique : 38,1° pour Toulouse et 52,5° pour Toronto. Ça fait toute la différence pour y voir des aurores.

En ce qui concerne les effets technologiques, au moment où nous écrivons ces lignes, l'événement est encore récent et peu d'informations ont filtré. On peut tout de même lire et entendre dans la presse que les communications avec des satellites ont été perturbées et que les opérateurs de réseaux électriques des pays nordiques ont eu du pain sur la planche. A priori, malgré l'intensité de l'orage, il semble que les choses se soient bien passées. Sans doute les opérateurs de satellites et de distribution électrique ont-ils appris des orages d'Halloween en 2003 qui avaient causé de nombreux dégâts. ■

Quelques ressources :

Site de l'Oframe :

<http://www.meteo-espace.fr/meteo-espace/fr>

Cahiers Clairaut n^{os} 141, 142, 180

HS14 « Le Soleil ».