

# 13 mars 1989: une magnétosphère bien perturbée!

par M. Roth

Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique

## ABSTRACT

On March 13 and 14, 1989, a major magnetic storm was associated with an extreme magnetospheric contraction. This event is illustrated through observations of the magnetic field recorded at the geostationary orbit by the satellite GOES 7. A correlated phenomenon was also the auroral activity seen at low latitudes during the night of 13-14 March. This activity is illustrated through an image of the southern auroral oval recorded by The University of Iowa's global auroral imaging instrumentation aboard the spacecraft Dynamics Explorer 1 passing over the Antarctic during the time of the «Great Storm». Mapping of this image onto the Northern Hemisphere is also shown.

\* \* \*

L'année 1989, sommet de l'activité solaire, a été marquée par l'apparition, à des latitudes géographiques anormalement basses, de nombreux phénomènes auroraux. La Belgique et les pays limitrophes n'ont certes pas échappé à ces spectacles féériques (voir encadré: Observations d'aurores en Belgique et dans les pays voisins en 1989). Ainsi, l'aurore boréale la plus spectaculaire fut visible dans notre ciel le soir du lundi 13 mars 1989 (voir *Ciel et Terre*, 1989, vol.105, pp. 31-37 et 69-74).

Rappelons que mars 1989 connut une activité solaire particulièrement intense, qui se manifesta à partir du lundi 6 lorsqu'apparut, au limbe Est du Soleil, un énorme groupe de taches. Ce dernier engendra une cascade d'éruptions majeures qui s'échelonnèrent du 6 au 19 mars. Au cours de cette période, on recensa 11 éruptions de classe X et 48 de classe M<sup>(1)</sup>.

L'intense activité solaire de mars 1989 perturba considérablement la magnétosphère terrestre et manifesta ses effets jusqu'au niveau du sol<sup>(2)</sup>. Parmi ces effets, citons tout d'abord le grand orage magnétique du 13 mars, pendant lequel les variations du champ magnétique mesurées au niveau du sol

<sup>(1)</sup> Les éruptions solaires sont classées X ou M suivant l'intensité maximale ( $I_{\max}$ ) de leur rayonnement X, de longueur d'onde comprise entre 0,1 et 0,8 nm. La classe M caractérise les éruptions pour lesquelles  $10^{-2} \leq I_{\max} \text{ (erg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}) < 10^{-1}$ , tandis que la classe X est caractérisée par  $I_{\max} \geq 10^{-1} \text{ erg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (voir aussi le tableau I dans *Ciel et Terre*, 1989, vol.105, p.37. Ce tableau énumère la succession des éruptions solaires du 6 au 17 mars 1989 et décrit leurs caractéristiques).

<sup>(2)</sup> Pour plus de détails sur les effets de l'activité solaire de mars 1989, voir l'excellent article de: J. Allen, H. Sauer, L. Frank and P. Reiff, Effects of the March 1989 Solar Activity, EOS, vol.70, n°46, pp.1479; 1486-1488, november 14, 1989.

atteignirent un peu partout dans le monde des valeurs records: parfois plus de 2000 nT ( $1 \text{ nT} = 10^{-9} \text{ Tesla}$ ), soit environ 5% de l'intensité du champ dipolaire à l'équateur. Citons également les PCA (*Polar Cap Absorption*): absorption, dans les calottes polaires, du bruit radio de longueur d'onde de 10m) de longue durée, les décroissances Forbush (diminution sensible du nombre de rayons cosmiques galactiques arrivant à la

surface de la Terre), les nombreuses perturbations ionosphériques, les variations de l'orbite de certains satellites ou les perturbations des systèmes de télécommunication et de navigation. Citons aussi les dommages causés à une ligne à haute tension dans la Province du Québec, privant de courant électrique 6 millions d'utilisateurs pendant au moins 9 heures, le 13 mars à partir de 2h44 (temps local).

## Observations d'aurores en Belgique et dans les pays voisins en 1989

Par recoupement de nombreux témoignages, nous dressons ici une liste d'aurores boréales apparues sous nos latitudes, au cours de l'année 1989. Bien que ces témoignages émanent de sources variées et généralement fiables, il est vraisemblable que la liste ci-dessous est incomplète et ne comprend en fait que certaines aurores parmi les plus brillantes. En effet, le degré de visibilité d'une aurore est, de toute évidence, fonction de la couverture nuageuse. D'autre part, des témoignages d'observations aurorales peuvent bien sûr nous avoir échappé.

**11 janvier:** Aurore boréale observée notamment en Allemagne de l'Ouest (Source: *Sterne und Weltraum*; 1990, n°4, p. 247). En Belgique, aucune observation de cette aurore ne nous a été signalée, probablement à cause de mauvaises conditions météorologiques.

**13 mars:** Spectaculaire aurore boréale observée en de nombreux pays d'Europe, sous nos latitudes. Celle-ci a fait l'objet de comptes rendus détaillés dans *Ciel et Terre* (1989, vol.105, pp 31-37 et 69-74). Grâce à l'absence de couverture nuageuse, cette aurore fut largement observée et photographiée (comme en témoigne d'ailleurs la page de couverture actuelle de notre revue).

**20 octobre:** Très belle aurore boréale observée en Allemagne de l'Ouest et en Europe Centrale (Source: *Sterne und Weltraum*; 1990, n°2, pp.114-115 et n°4, p.247).

**21 octobre:** Aurore boréale observée en France, dans le Massif Central (Source: *Astro-Ciel*; 1990, n° 32, page 3 de couverture) et en Belgique, dans la région de Dinant (observateur: J. Bourgeois, *Ciel et Terre*; 1990, vol.106, p.14).

**17 novembre:** Une aurore est observée dans le Brabant et la région liégeoise (Source: *Ciel et Terre*; 1989, vol.105, p.121). Nombreux témoignages de France (Source: *Astro-Ciel*; 1990, n°32, page 3 de couverture), d'Autriche et d'Allemagne de l'Ouest où cette aurore fut particulièrement brillante (Source: *Sterne und Weltraum*; 1990, n°4, p.247).

**1<sup>er</sup> décembre:** Aurore boréale observée en Allemagne de l'Ouest et en Autriche, mais moins spectaculaire que celle du 17 novembre (Source: *Sterne und Weltraum*; 1990, n°4, p.247).

**29 décembre:** Dans la nuit du 29 au 30 décembre, vers minuit de temps local, une aurore est observée dans l'Est de la France par des membres des clubs Alsaciens: «Astro Junior M67» et «Satos Fous» (Source: *Astro-Ciel*; 1990, n°32, page 3 de couverture).

**30 décembre:** Une aurore boréale est observée à l'observatoire du Jungfraujoch (Suisse) par un observateur d'étoiles variables, R. Boninsegna (Source: *Ciel et Terre*; 1990, vol.106, p.14).

NDLR: On ne peut écarter des erreurs de date: une seule aurore le 20 ou 21 oct/le 29 ou 30 déc.

## La magnétosphère perturbée

On peut se faire une idée des déformations subies par la magnétosphère terrestre, le 13 mars 1989, en consultant la figure 1. Cette figure illustre les variations de la composante  $H_p$  du champ magnétique, mesurées par le satellite géostationnaire GOES 7, les 5, 6, 13 et 14 mars 1989. La composante  $H_p$  est approximativement dirigée du Sud vers le Nord, le long de l'axe de rotation de la Terre. Il en résulte, qu'à l'intérieur de la magnétosphère,  $H_p$  est positif <sup>(3)</sup>. Par contre, à l'extérieur de la magnétosphère, le champ magnétique terrestre cède le pas au champ magnétique interplanétaire dont l'orientation peut varier en fonction des conditions régissant le milieu interplanétaire. On sait cependant, qu'en période de forte activité

<sup>(3)</sup> Le champ magnétique terrestre est essentiellement de nature dipolaire. En première approximation (les pôles magnétique et géographique d'un même hémisphère sont séparés d'une distance de l'ordre de 1.000 km), les lignes de force du champ sont issues du pôle Sud géographique (pôle Nord magnétique) et aboutissent au pôle Nord géographique (pôle Sud magnétique). Dans la région interne de la magnétosphère, de part et d'autre de l'équateur magnétique, le champ a donc une composante dirigée vers le Nord géographique ( $H_p > 0$ ).

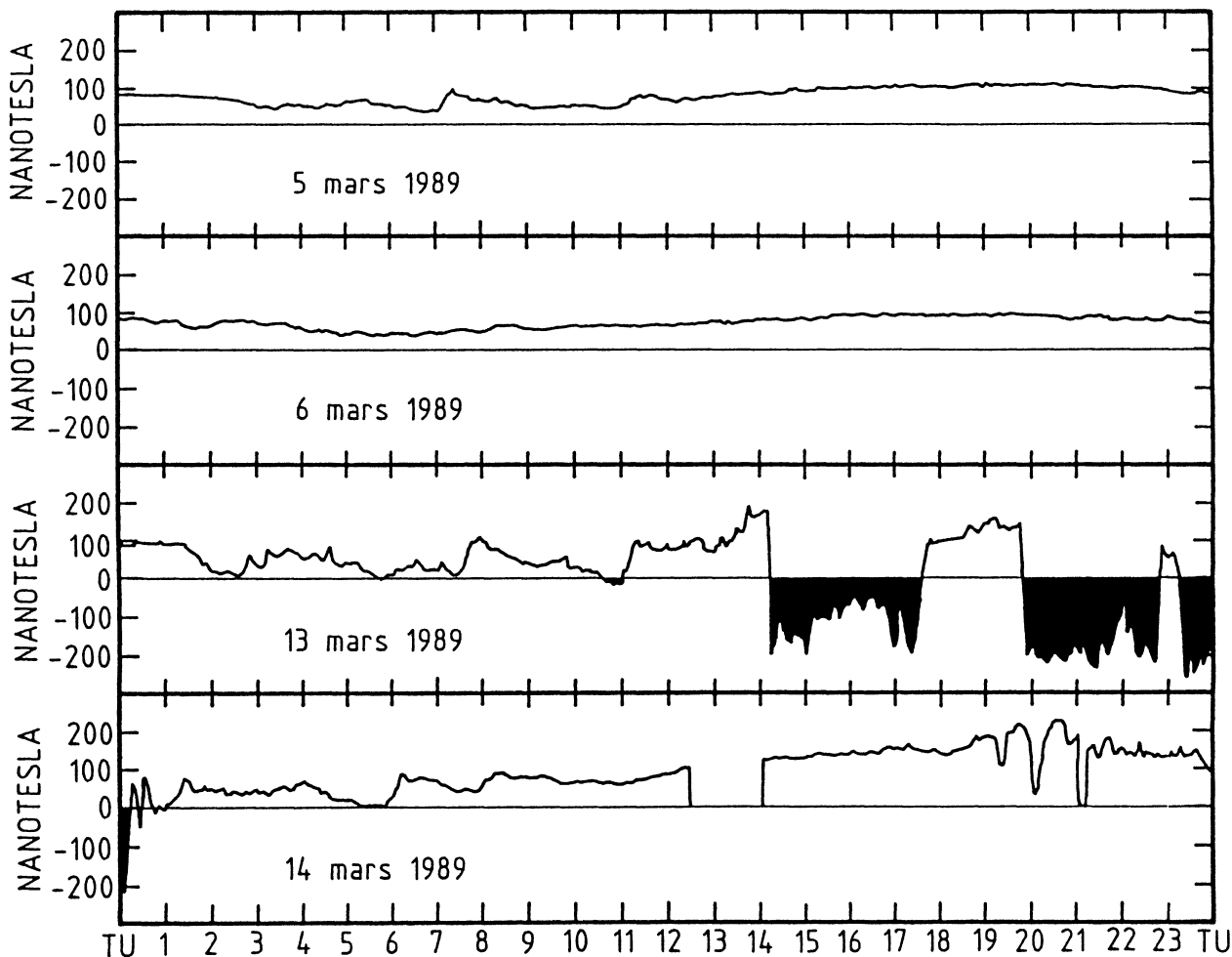
magnétique (comme c'était le cas le 13 mars 1989 !), le champ magnétique interplanétaire possède très souvent une composante orientée vers le Sud.

Dans la direction du Soleil, la magnétopause (c'est-à-dire la frontière de la magnétosphère) est, en moyenne, située à 10 rayons terrestres du centre de la Terre. Un satellite géostationnaire (orbitant à 6,6 rayons terrestres) reste donc normalement confiné à l'intérieur de la magnétosphère et son magnétomètre embarqué enregistre une composante  $H_p$  positive. C'est bien le cas au cours des 6 et 7 mars 1989, puisque, comme l'indique la figure 1, le champ magnétique mesuré par GOES 7 conserve une composante  $H_p$  positive. Cela indique que, pendant ces 2 jours, la magnétopause se situait en tout cas au-delà de 6,6 rayons terrestres.

Par contre, le 13 mars, on assiste à trois reprises (parties ombragées de la figure 1) à un renversement de polarité de la composante  $H_p$ . La première inversion a lieu à 14h16 TU et durera plus de 3 heures. La troisième incursion de  $H_p$  vers des valeurs négatives débute le 13 mars, vers 23h20 TU, pour s'achever le 14 mars peu après 0h TU. Les trois intervalles de temps de la figure 1, pendant lesquels  $H_p$  est négatif (zones sombres), correspondent à des incursions de GOES 7 dans le milieu interplanétaire. Ces incursions s'interprètent aisément si l'on admet que la magnétosphère subit une succession de contractions et d'expansions. Pendant les phases de contraction, la magnétopause se serait déplacée, à trois reprises le 13 mars, en deçà de 6,6 rayons terrestres. On a de plus calculé théoriquement que, du côté Soleil, la magnétopause se serait rapprochée jusqu'à 4,7

**Figure 1: Moyennes sur 1 minute de la composante  $H_p$  du champ magnétique observé à l'altitude géostationnaire par le satellite GOES 7, les 5, 6, 13 et 14 mars 1989.**

La composante  $H_p$  est approximativement dirigée du Sud vers le Nord, le long de l'axe de rotation de la Terre. Lorsque  $H_p > 0$ , le champ magnétique mesuré est celui de la magnétosphère. Par contre lorsque  $H_p < 0$  (zones ombragées), le champ magnétique mesuré est typique du milieu interplanétaire. Le 13 mars, il apparaît ainsi clairement que GOES 7 s'est trouvé, à trois reprises, en dehors de la magnétosphère. On interprète ce résultat en admettant que cette dernière a subi une série de contractions et d'expansions successives. Le 13 mars, la frontière de la magnétosphère (typiquement à 10 rayons terrestres) a donc été « poussée », à trois reprises, à l'intérieur de l'orbite géostationnaire (à 6,6 rayons terrestres).





rayons terrestres du centre de la Terre (J. Allen, H. Sauer, L. Frank and P. Reiff, EOS, vol.70, n°46, pp.1479; 1486-1488, november 14, 1989). Ce déplacement drastique de la magnétopause vers la Terre met en exergue une contraction de la magnétosphère diurne d'un facteur supérieur à deux. C'est la pression accrue du vent solaire, conséquence d'une activité solaire importante, qui, associée à une forte composante Sud du champ magnétique interplanétaire, a favorisé cette contraction exceptionnelle de la magnétosphère.

Le 13 mars 1989, le début de la phase initiale de l'orage magnétique (sudden storm commencement ou ssc) se situait à 1h28 TU et témoignait d'un début de compression magnétosphérique. L'exceptionnel orage magnétique qui allait suivre, bien illustré par le déplacement record de la magnétopause vers la Terre, allait engendrer un mouvement des ovales auroraux vers l'équateur et avec lui l'apparition d'aurores à des latitudes rarement atteintes (une définition précise des ovales auroraux et la cause de leur déplacement vers l'équateur sont données dans *Ciel et Terre*, 1990, vol.105, pp.31-37).

### Les ovales auroraux vus de l'espace

Le 3 août 1981, la NASA procéda au lancement de deux satellites: Dynamics Explorers 1 et 2. Ces deux satellites avaient pour mission d'étudier le couplage entre la magnéto-

sphère, l'ionosphère et l'atmosphère supérieure. A bord du satellite Dynamics Explorer 1 (DE-1) fut embarqué un photomètre fonctionnant dans le domaine UV, construit à l'Université d'Iowa (USA) par l'équipe du professeur L. Frank. Depuis sa mise en orbite, cet instrument n'a cessé de nous transmettre des images uniques des ovales auroraux, de la couronne d'hydrogène entourant la Terre et de la distribution d'ozone dans l'atmosphère supérieure.

La figure 2 représente les orbites des deux satellites, dessinées approximativement à la même échelle. Il s'agit d'orbites polaires s'effectuant dans un plan fixe. On remarque que l'orbite de DE-1 est très excentrique. En effet, les paramètres initiaux de celle-ci sont caractérisés par un périégée de 570 km, une apogée de 3,65 rayons terrestres (23.263 km d'altitude), une période orbitale de 6,83 heures et un taux de précession du grand axe égal à 0,328° par jour (soit une période de précession de 3 ans). L'inclinaison orbitale est de 90° (orbite polaire). Au cours de l'orbite initiale, la latitude géographique de l'apogée était de 78,2° N. Trente-six jours après le lancement, celle-ci atteignit 90° N, puis s'annula, dans le plan équatorial, au début

du mois de juin 1982. Début mars 1983, l'apogée de DE-1 était située au-dessus du pôle Sud, puis au-dessus des régions polaires de l'hémisphère Nord en automne 1984. Le 13 mars 1989, elle se situait, par contre, au-dessus de l'hémisphère Sud.

La partie gauche de la figure 3 est une image de l'ovale auroral de l'hémisphère Sud obtenue le 14 mars 1989, à 1h51 TU. Cette image est prise d'une altitude de 20.000 km, à 85° de latitude Sud et à 305° de longitude <sup>(4)</sup>. Les émissions UV sont situées ici dans un domaine spectral s'étendant approximativement de 136 à 165 nm et correspondent principalement aux bandes d'émission de Lyman-Birge-Hopfield de l'azote moléculaire. Ces émissions rivalisent en intensité avec les émissions de l'hémisphère éclairé, dans la partie supérieure droite de l'image. Les contours des continents ont également été dessinés pour bien situer la position de l'ovale. Dans l'hémisphère Sud, celui-ci s'est déplacé jusqu'au-delà du Tropique du Capricorne, en Australie.

<sup>(4)</sup>Il s'agit ici de latitude et de longitude géographiques

Figure 2: Représentation schématique des orbites polaires des satellites américains Dynamics Explorers 1 et 2.

Les orbites sont dessinées approximativement à la même échelle. Le photomètre UV de l'Université d'Iowa est embarqué à bord de Dynamics Explorer 1 dont l'orbite polaire est très excentrique (apogée située à quelque 23.000 km d'altitude).

