



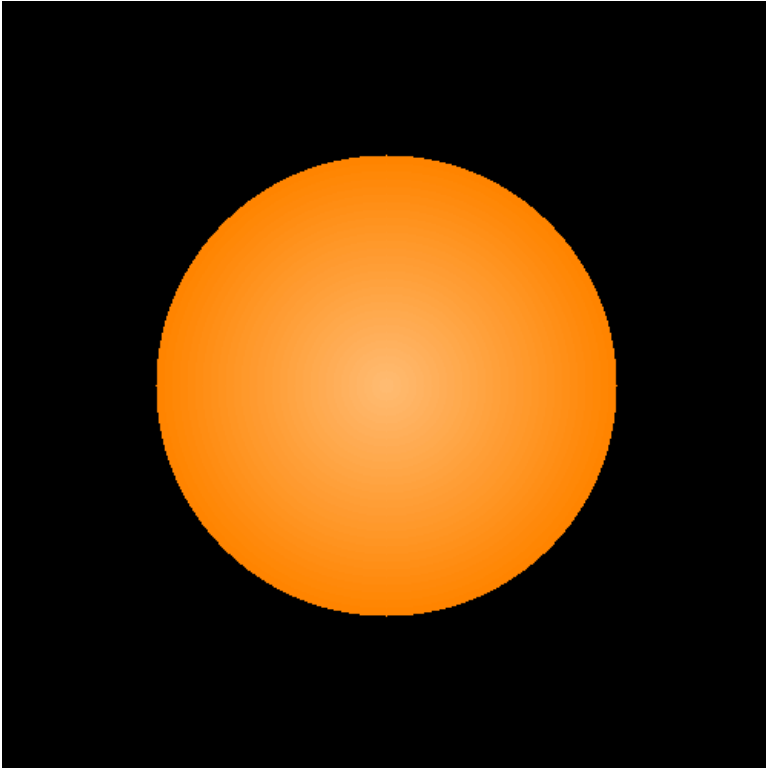
La Physique Solaire

Paul Charbonneau

Département de Physique, Université de Montréal

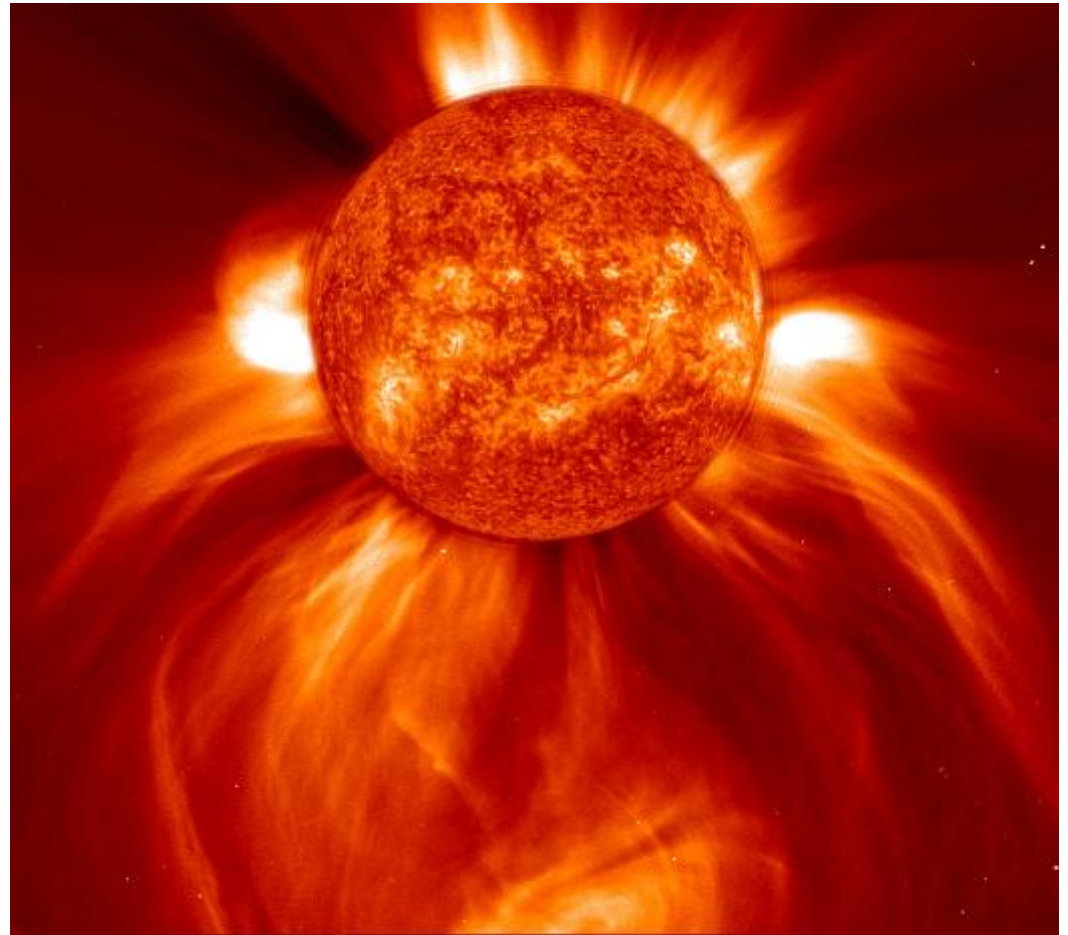
-
1. Le soleil est une étoile magnétique
 2. L'activité solaire
 3. La météo spatiale
-

Le magnétisme solaire (et stellaire)

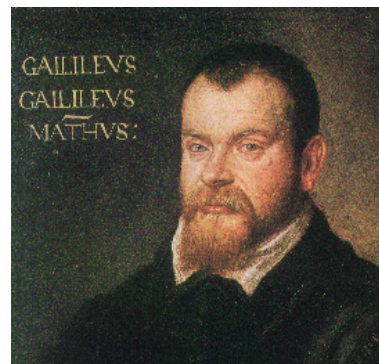
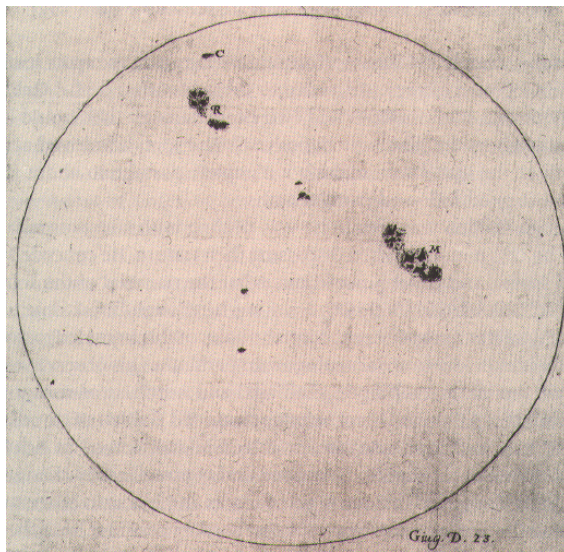
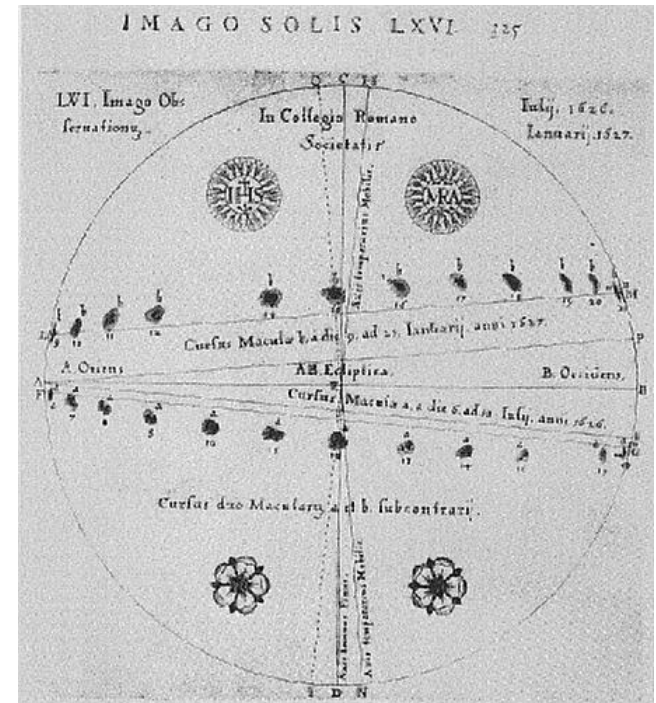
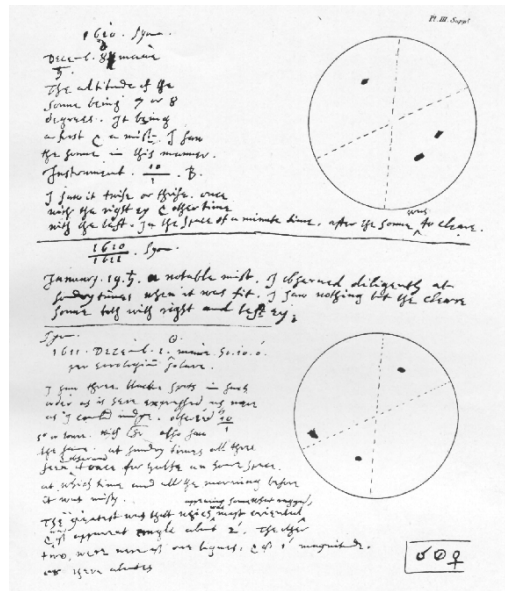


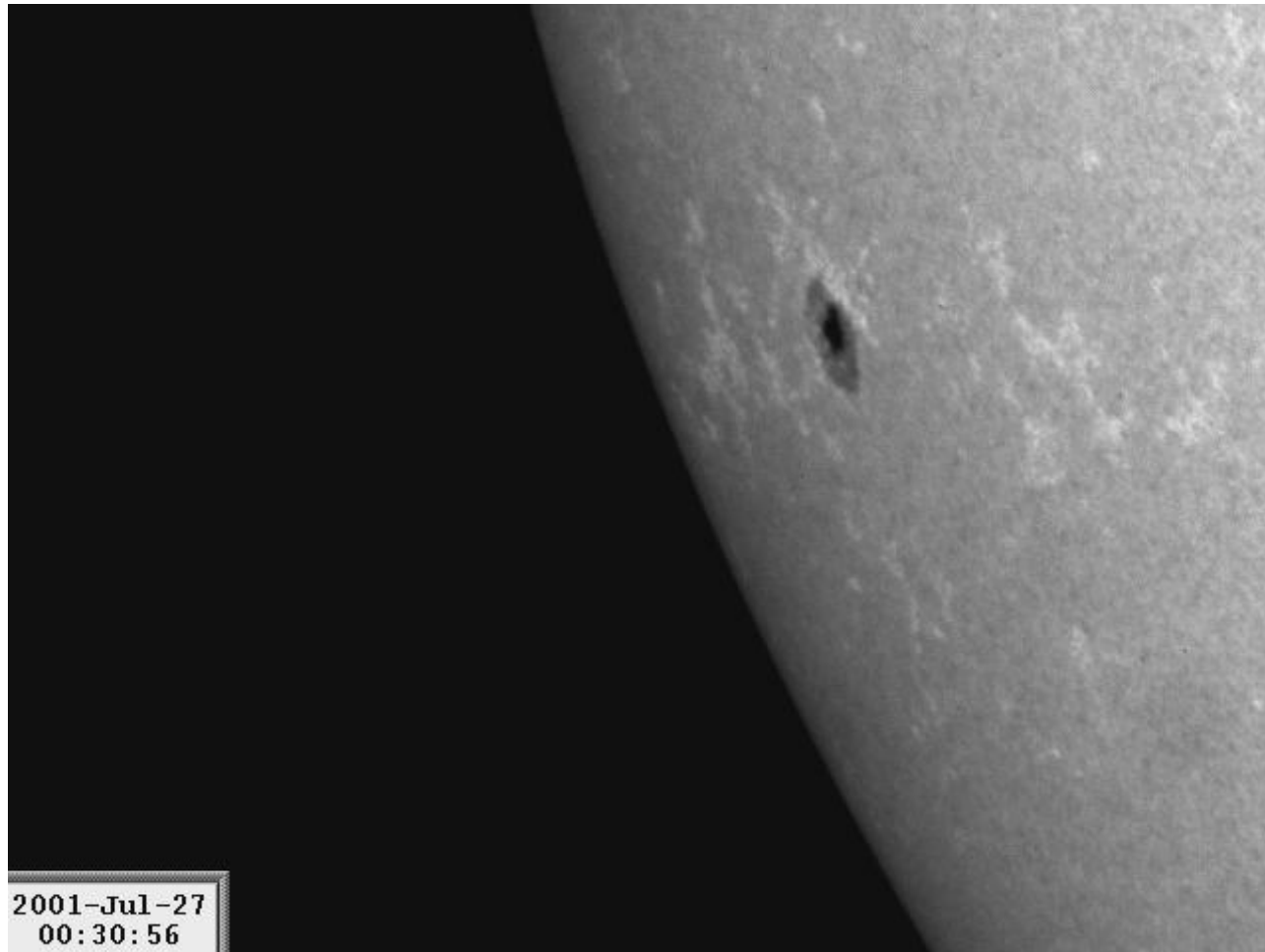
« If the sun did not have a magnetic field, it would be as boring a star as most astronomers believe it to be »

(Attribué à R.B. Leighton)



Harriot, Fabricius, Galileo, Scheiner,...



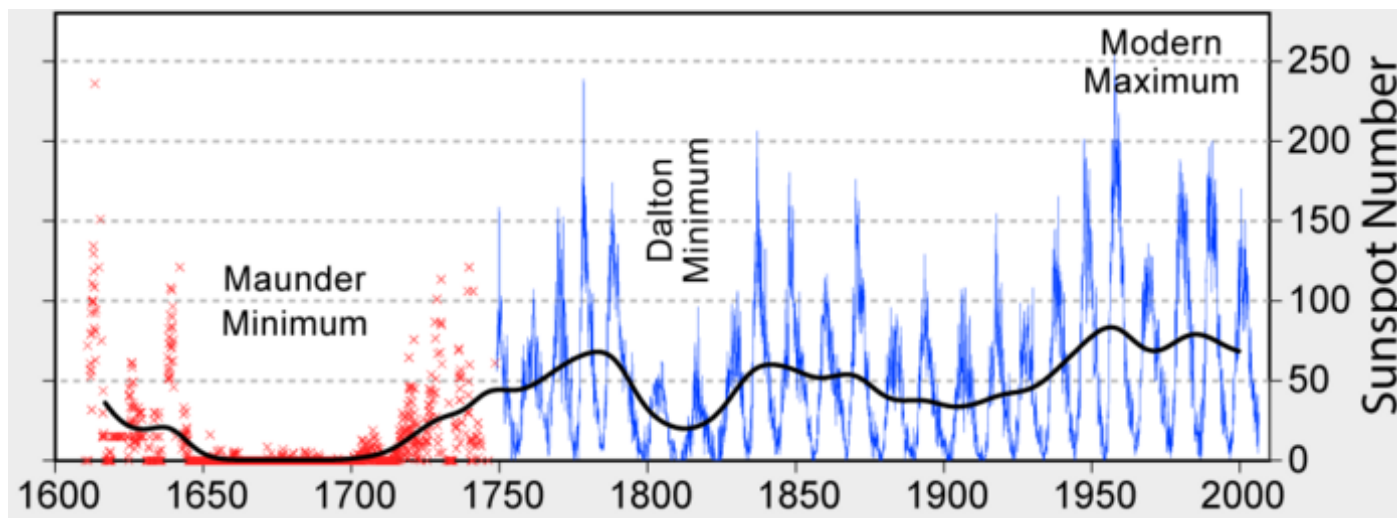


Journée CEGEP 2019

Le cycle des taches solaires (1)

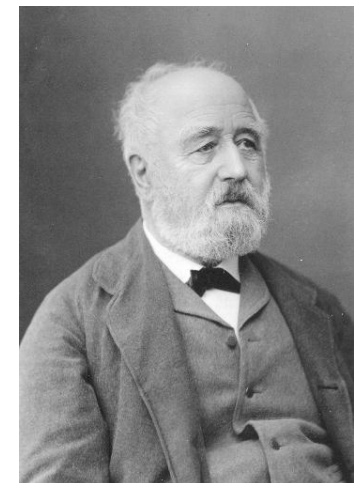
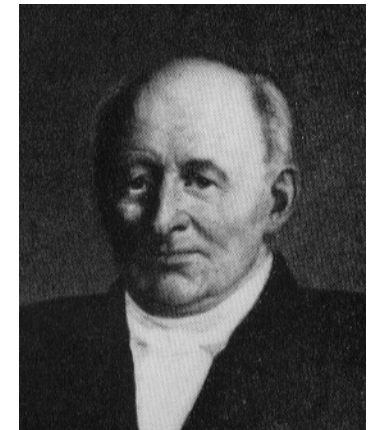
Découvert en 1843 par un astronome amateur, après 17 ans d'observations continues des taches solaires

400 ans d'observations de taches solaires



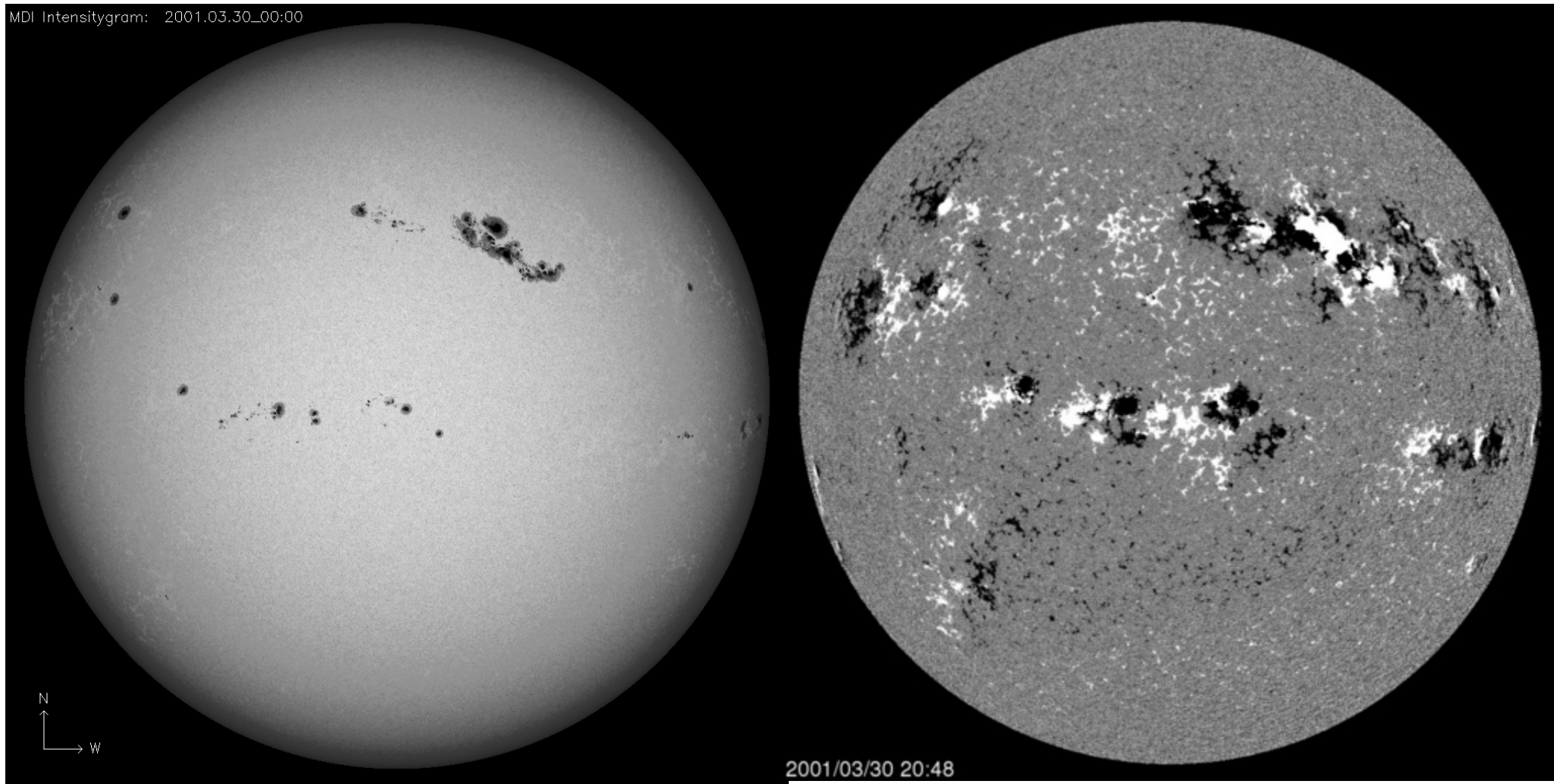
Sa période est d'environ 11 ans, et son amplitude est sujette à d'importantes fluctuations

Heinrich Schwabe



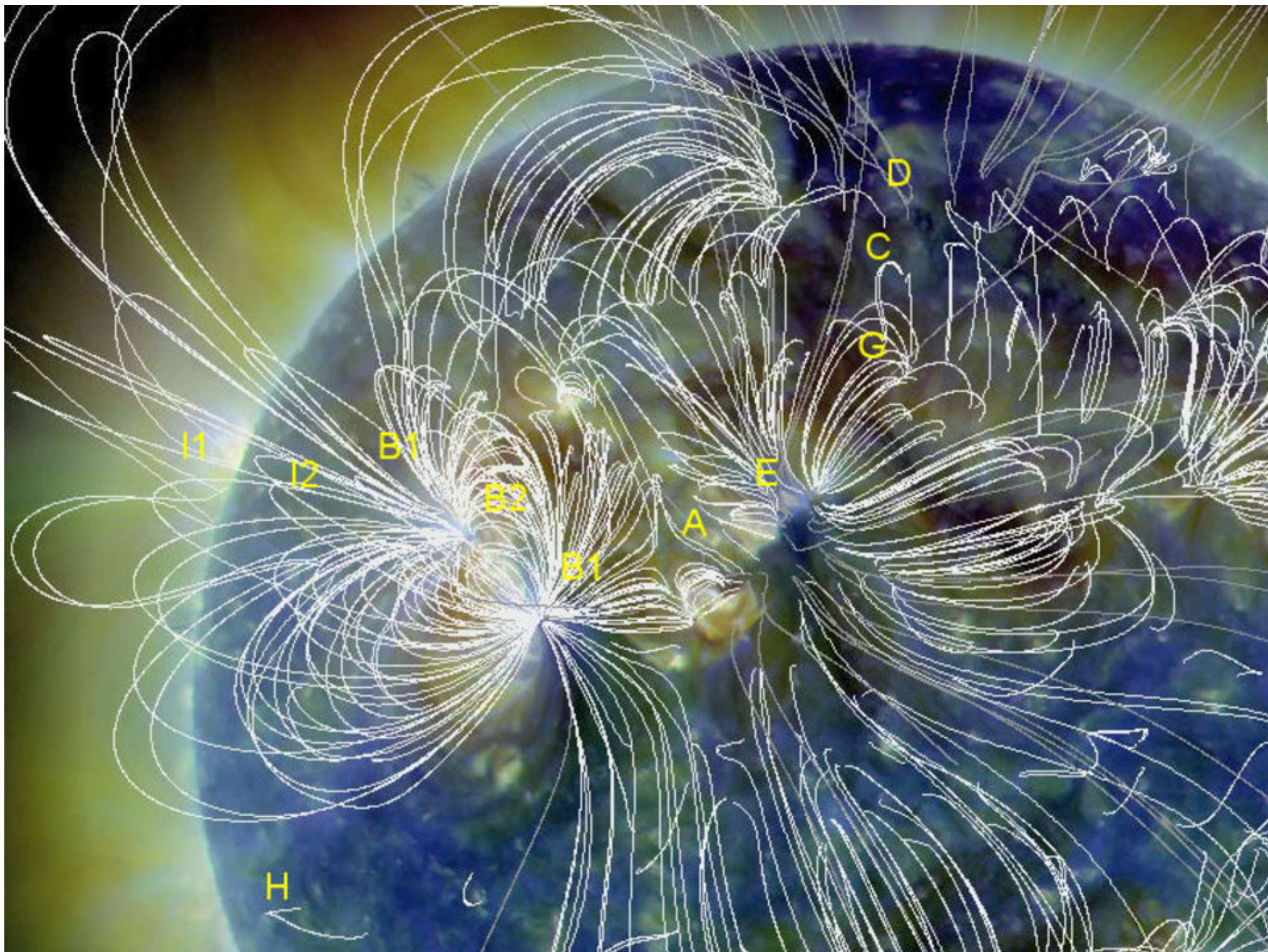
Rudolf Wolf

Le cycle des taches solaires (2)

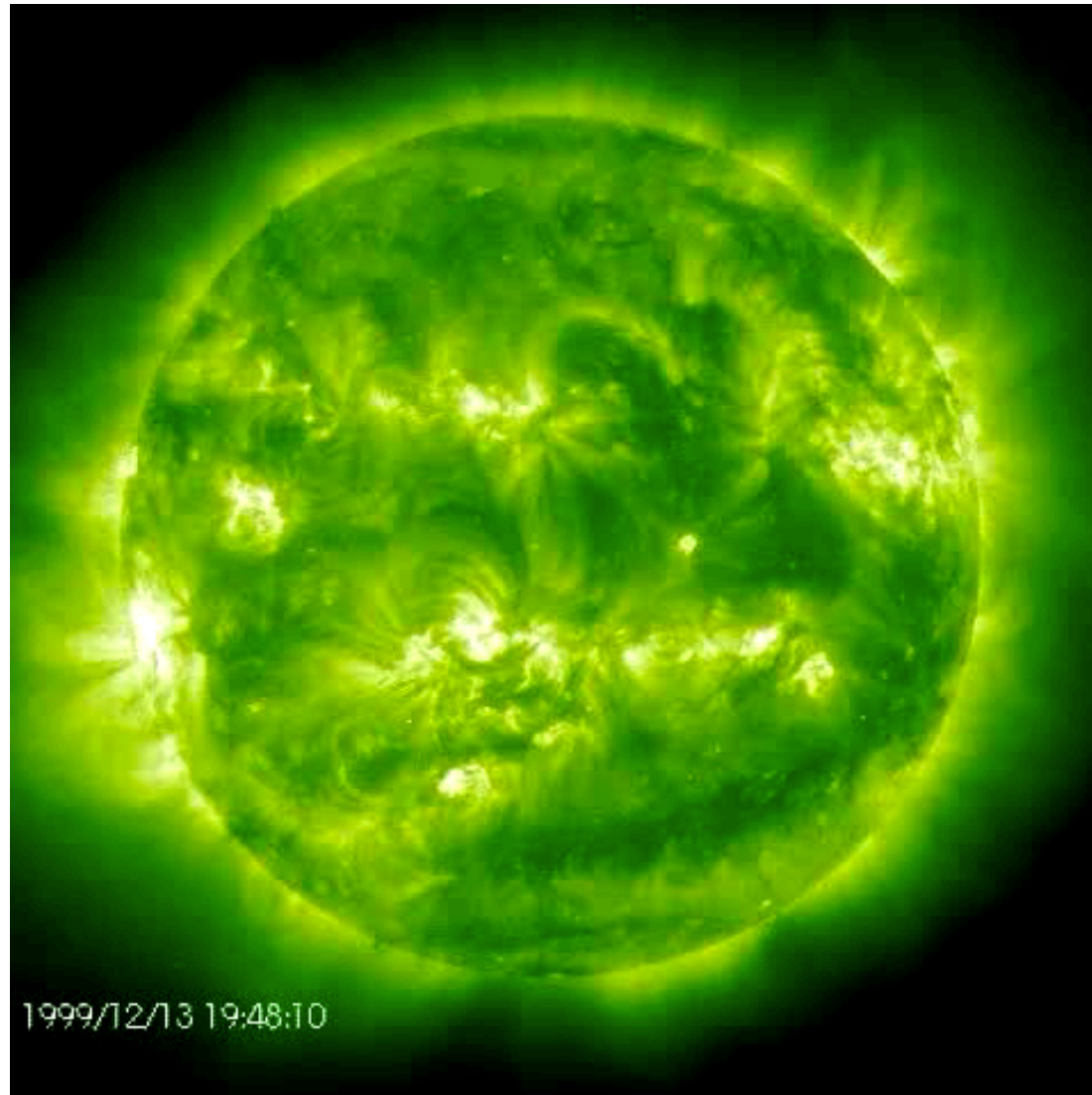


2001, phase maximale

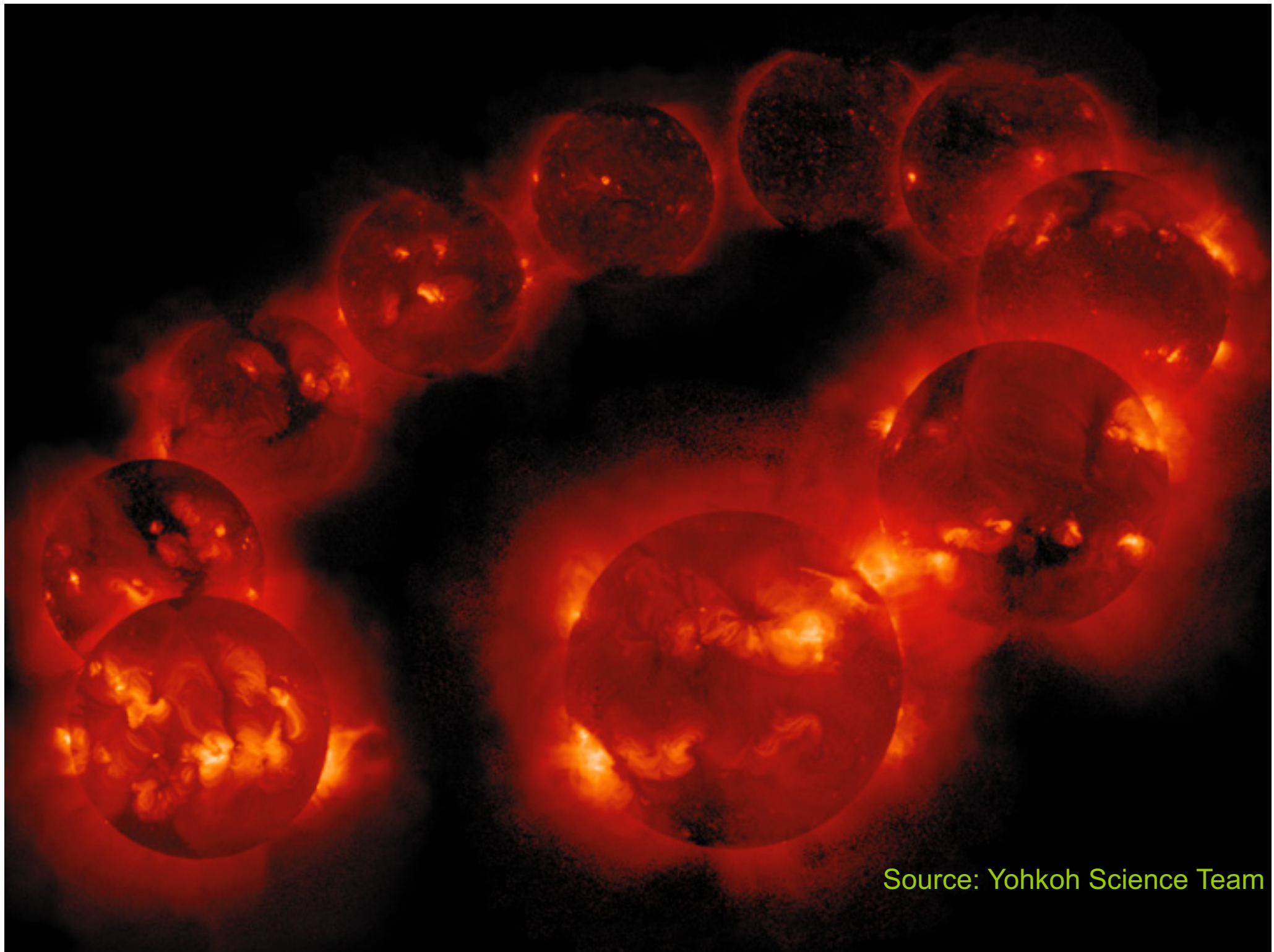
Magnétogramme



La radiation ultraviolette solaire

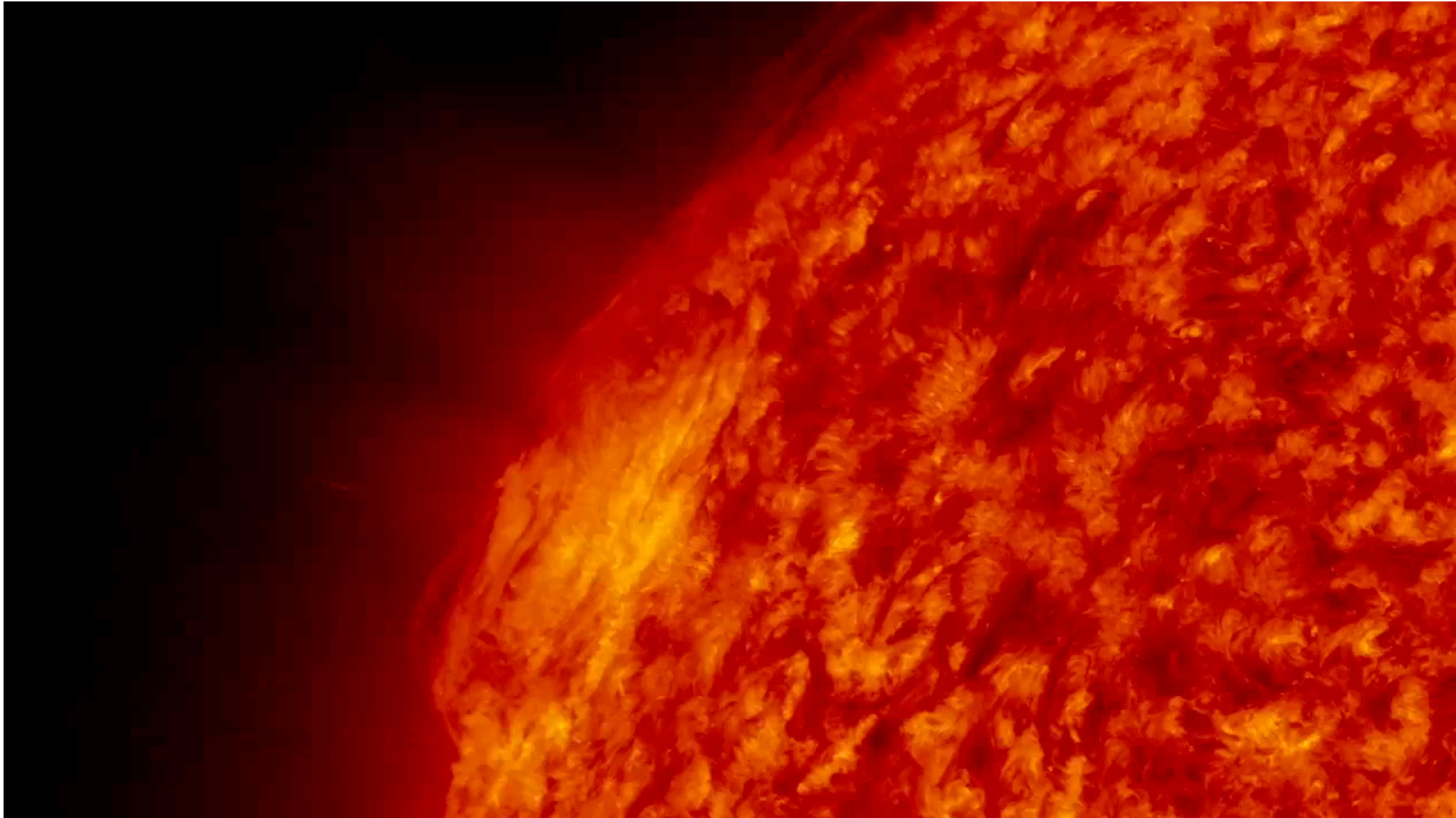


Source: SOHO/EIT; voir <http://sohowww.nascom.nasa.gov>



Source: Yohkoh Science Team

Les protubérances éruptives



Source: SOHO/EIT; voir <http://sohowww.nascom.nasa.gov>

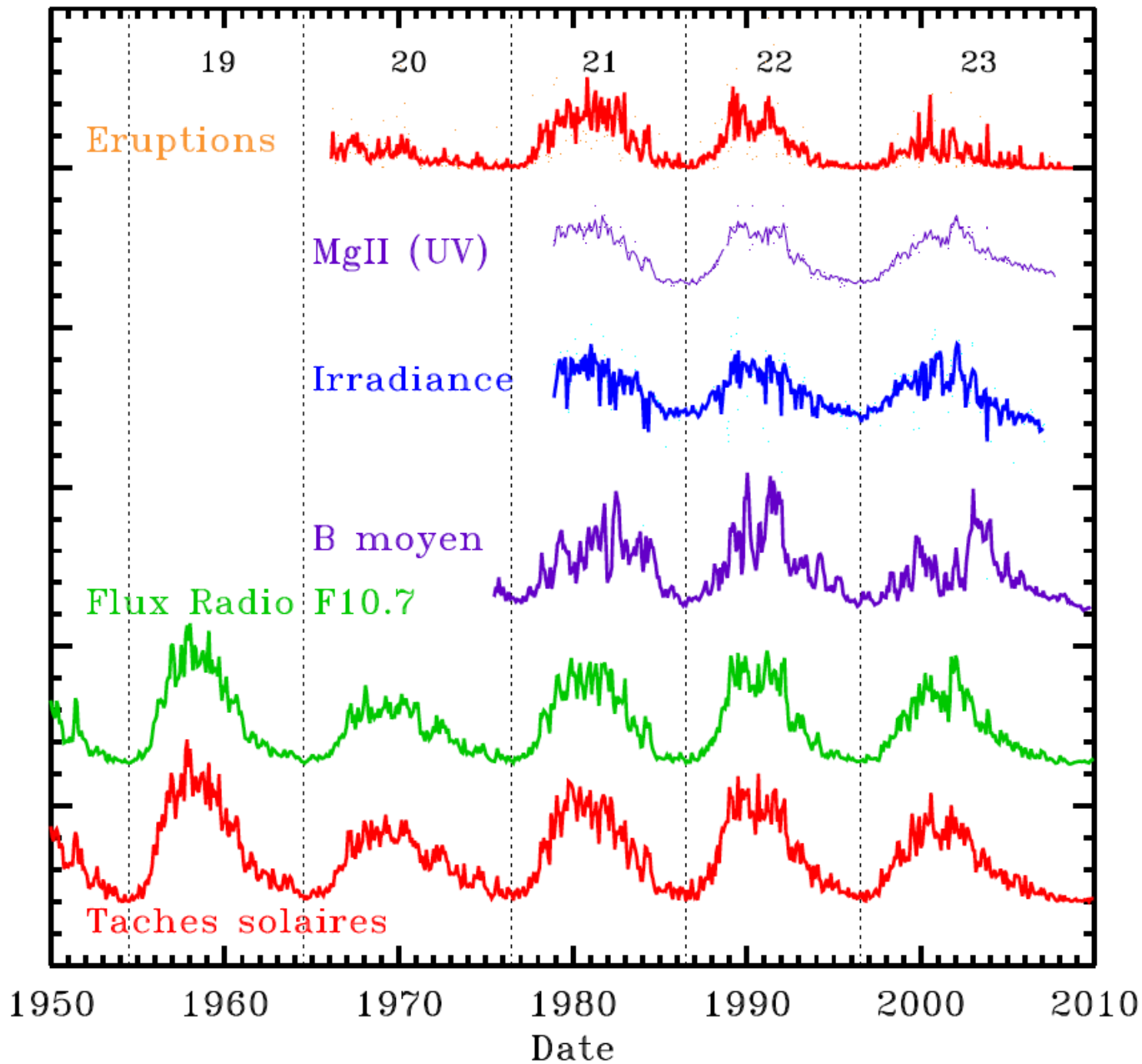
Journée CEGEP 2019

Les éjections coronales

C3 1998/05/01 01:44

Source: SOHO/LASCO; voir <http://sohowww.nascom.nasa.gov>

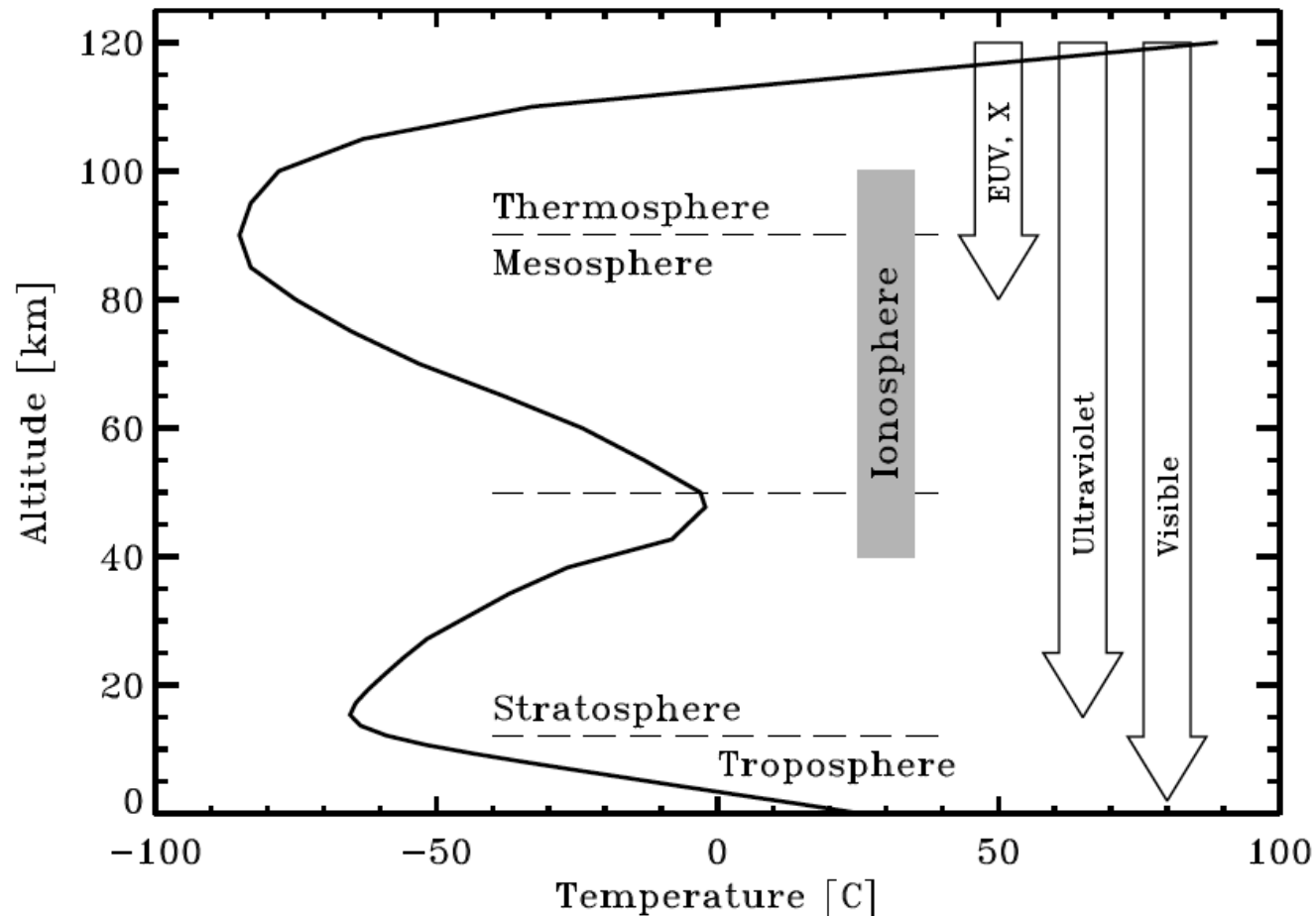
Le cycle de l'activité solaire





La haute atmosphère terrestre

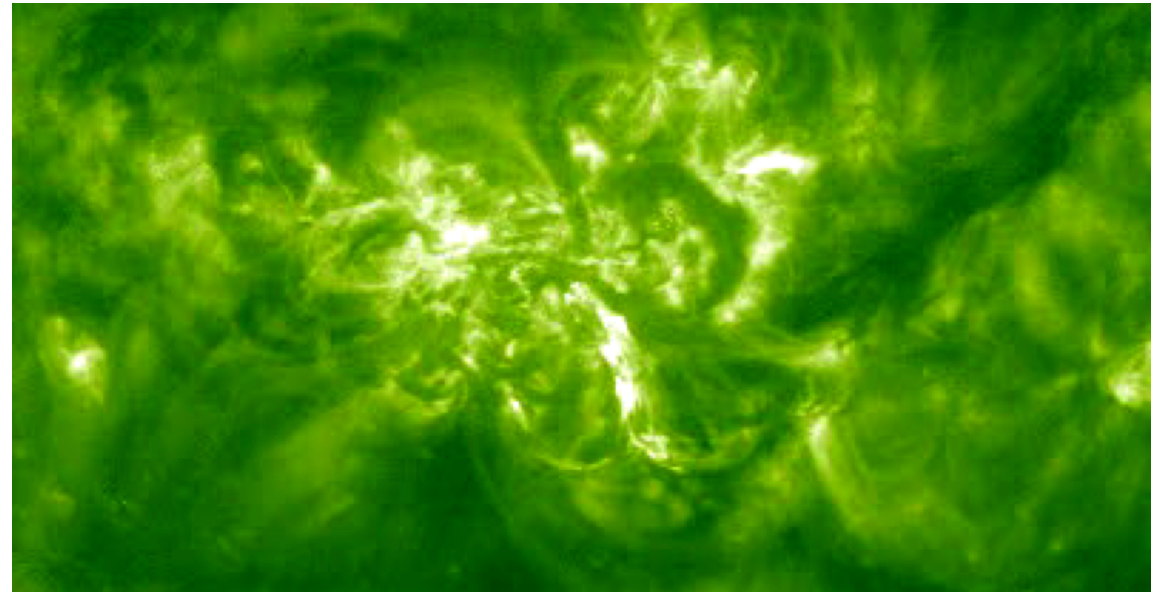
Les hautes couches de l'atmosphère terrestre absorbent la grande majorité de la radiation énergétique (UV, rayons-X...) solaire.



Soleil et météo spatiale

- Dommages aux satellites, irradiation des astronautes
- Perturbation des communications radio aux hautes latitudes
- Surcharge des lignes à haute tension
- Inductions de courants secondaires dans pipelines, câbles sous-marins.

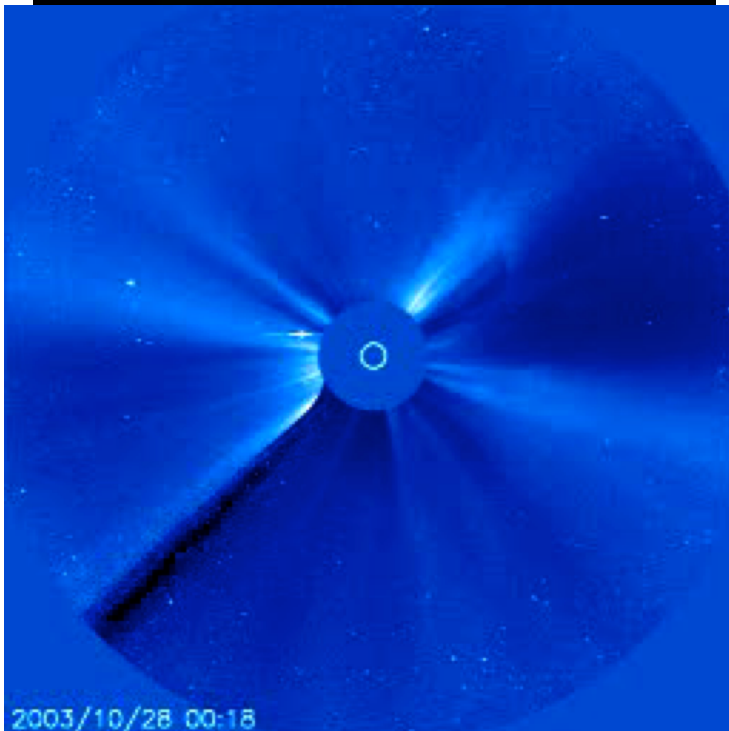
Éruptions solaires



« Bastille day flare », 14/07/2000; dommages fatal au satellite ASCA, dégradation de SOHO; Arrêt temporaire de Chandra, et du réseau GPS

Source: SOHO/EIT;
voir <http://sohowww.nascom.nasa.gov>

Journée CEGEP 2019



Janvier 1994: Panne des satellites ANIK-E1, E2



Figure courtesy of The Solar Data Analysis Center

L'émission aurorale (1)



Journée CEGEP 2019

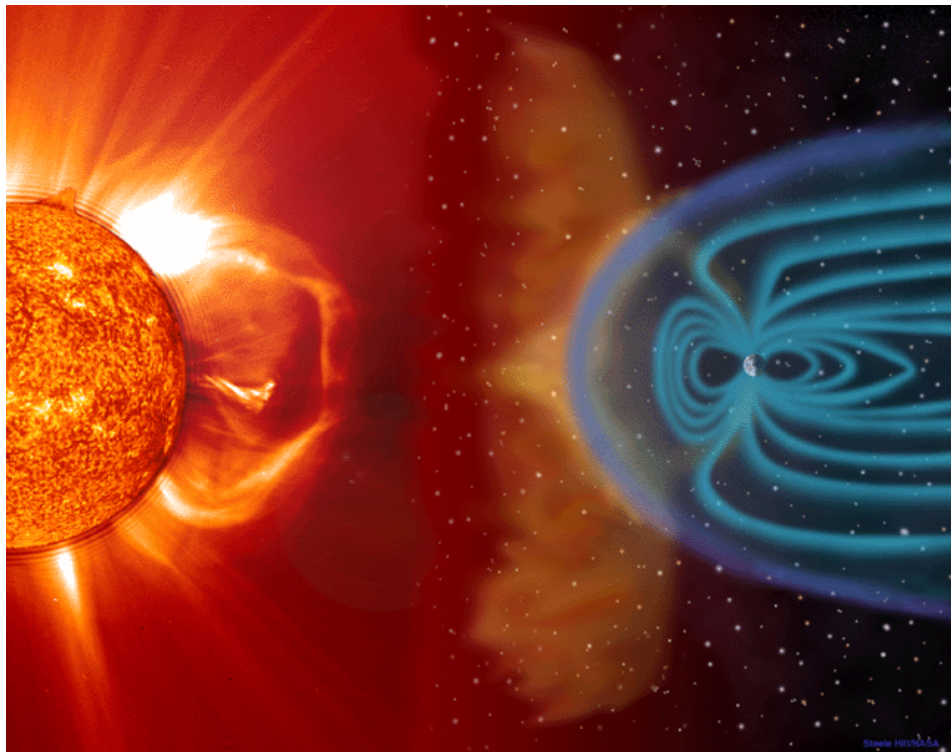
L'émission aurorale (2)



Journée CEGEP 2019

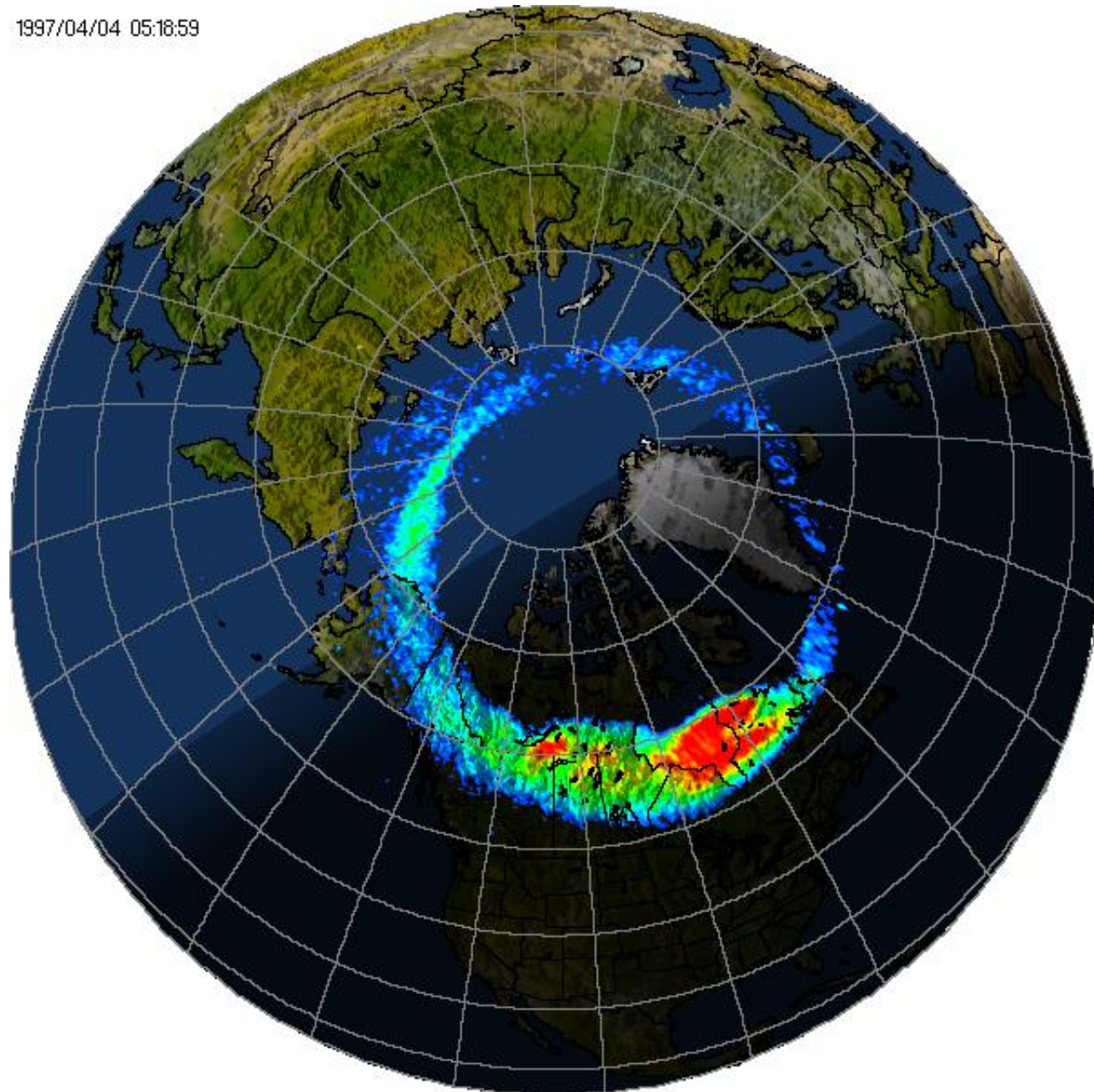
La magnétosphère

La **magnétosphère** est une cavité creusée dans le milieu interplanétaire par le champ magnétique terrestre, qui dévie le vent solaire et agit comme un bouclier protégeant la Terre des impacts d'éjecta d'origine solaire.



Mais le bouclier est « mou », partiel, et comporte deux failles !

1997/04/04 05:18:59

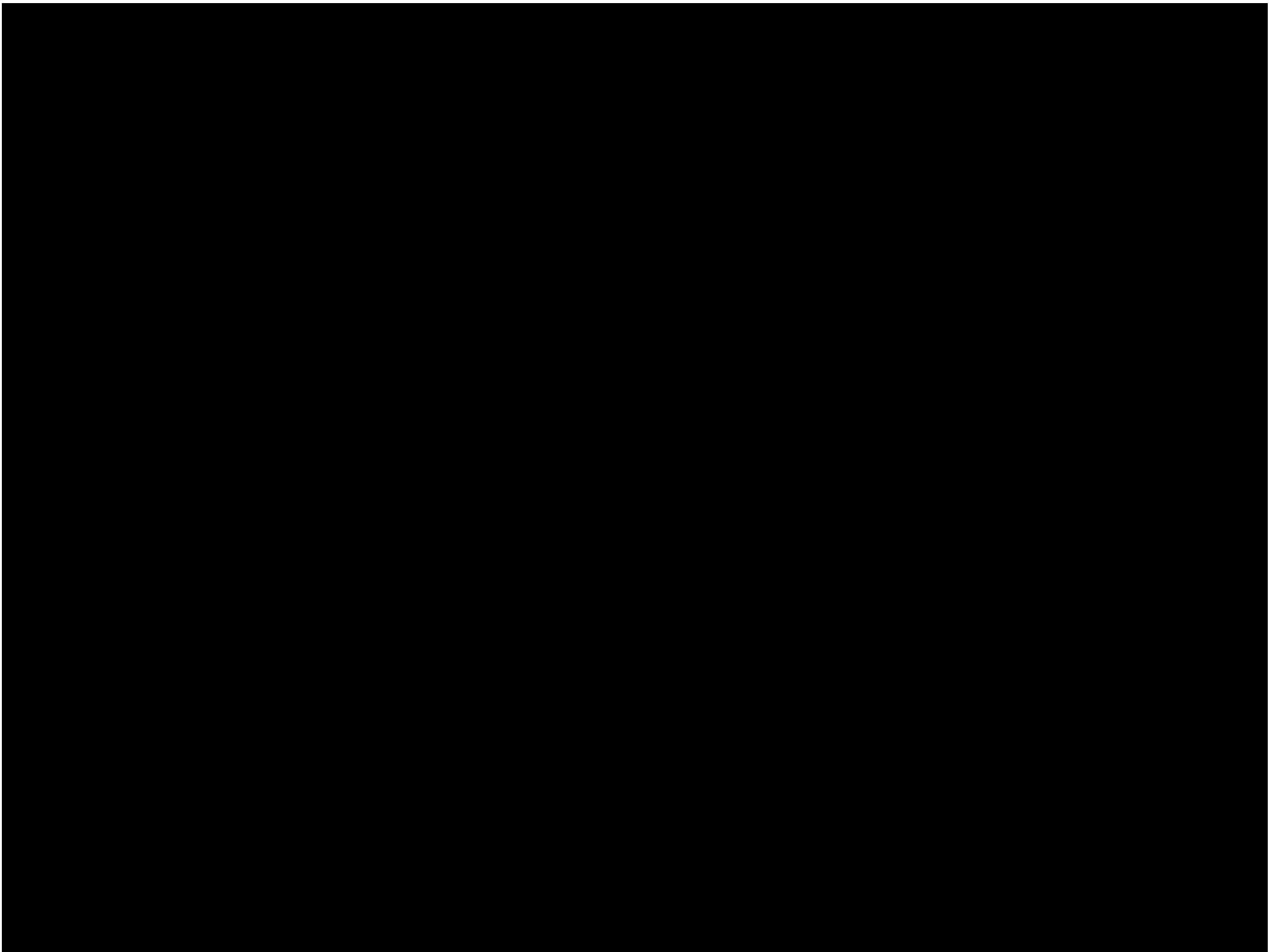


Journée CEGEP 2019

Surcharge des lignes à haute tension

Auroral Electrojet

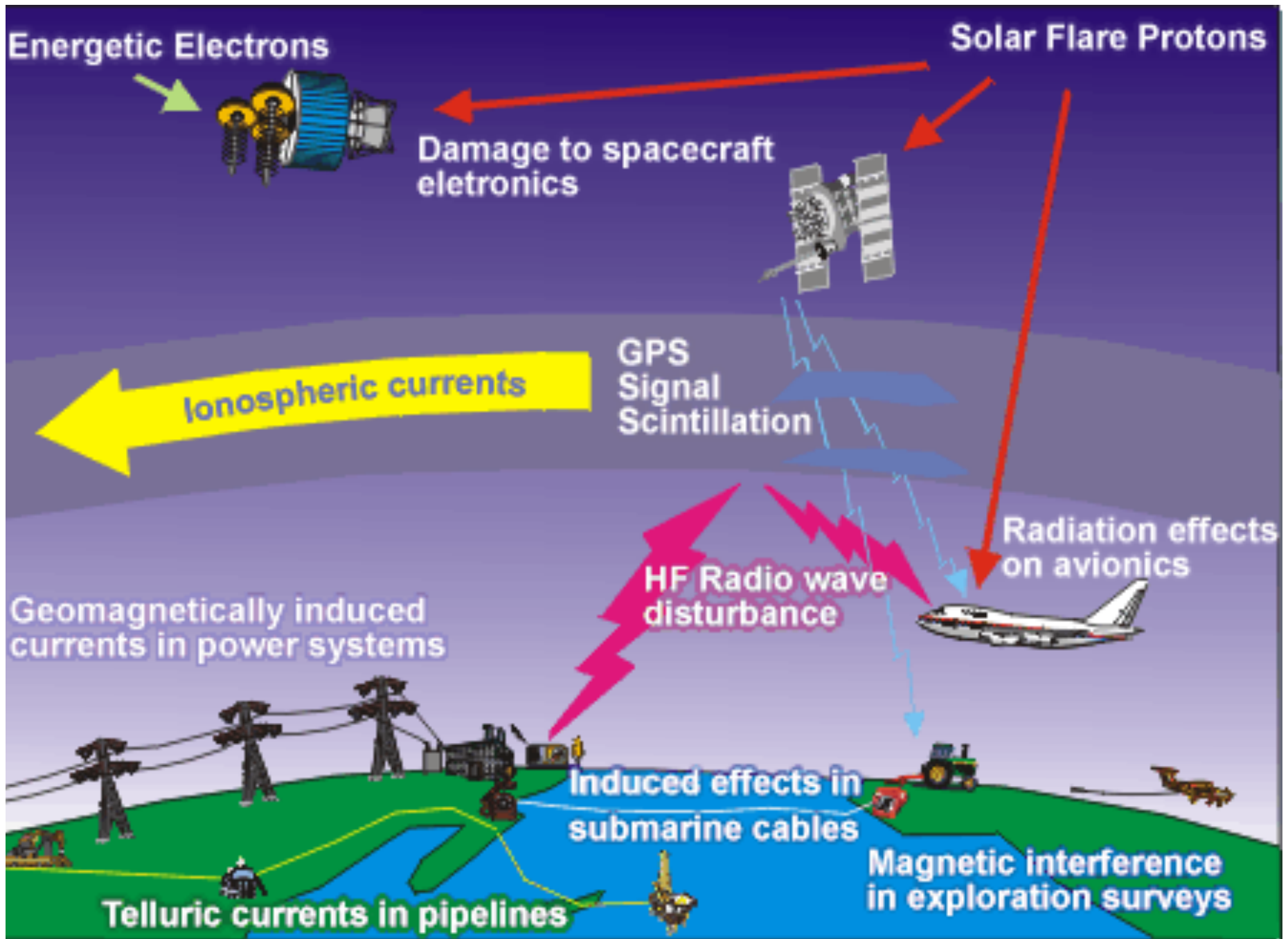
The diagram illustrates the interaction between an auroral electrojet and high-voltage power lines. A red arrow labeled 'Auroral Electrojet' points from left to right across the upper portion of the image. Below it, a series of red high-voltage power lines are supported by lattice towers. Dashed black lines with arrows at their ends show the magnetic field lines of the electrojet, which are draped over the power lines, indicating a significant magnetic loading or 'surcharge' on the system. The background is a blue sky with a halftone dot pattern, and the ground is a solid teal color.



Dégâts coûteux... et dangereux !



Coût de remplacement: \$10M Délai: 6 semaines minimum



Les équations de la magnétohydrodynamique

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0 ,$$

$$\frac{D\mathbf{u}}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \mathbf{g} + \frac{1}{\mu_0 \rho} (\nabla \times \mathbf{B}) \times \mathbf{B} + \frac{1}{\rho} \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} ,$$

$$\frac{De}{Dt} + (\gamma - 1)e \nabla \cdot \mathbf{u} = \frac{1}{\rho} \left[\nabla \cdot \left((\chi + \chi_r) \nabla T \right) + \phi_\nu + \phi_B \right] ,$$

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \nabla \times (\mathbf{u} \times \mathbf{B} - \eta \nabla \times \mathbf{B}) .$$

Le minimum à retenir de cette présentation

- Le soleil est une étoile magnétique
- Le champ magnétique solaire est le moteur de tous les phénomènes définissant l'activité solaire
- L'environnement spatial interplanétaire est fortement influencé par les variations de l'activité solaire
- Toutes les couches de l'atmosphère terrestre sont influencées directement ou indirectement par l'activité solaire
- Plusieurs types d'infrastructures technologiques majeures peuvent être fortement affectées par l'activité solaire (réseaux électriques, GPS, communications, etc.)

Ressources Web

- <http://sohowww.nascom.nasa.gov>
<http://sdo.gsfc.nasa.gov>
[Images/animations phénomènes solaires]
- <http://www.spaceweather.org>
- <http://www.spaceweather.gc.ca>
[Météo Spatiale]
- <http://www.astro.umontreal.ca/grps>
[Histoire de la Physique Solaire]