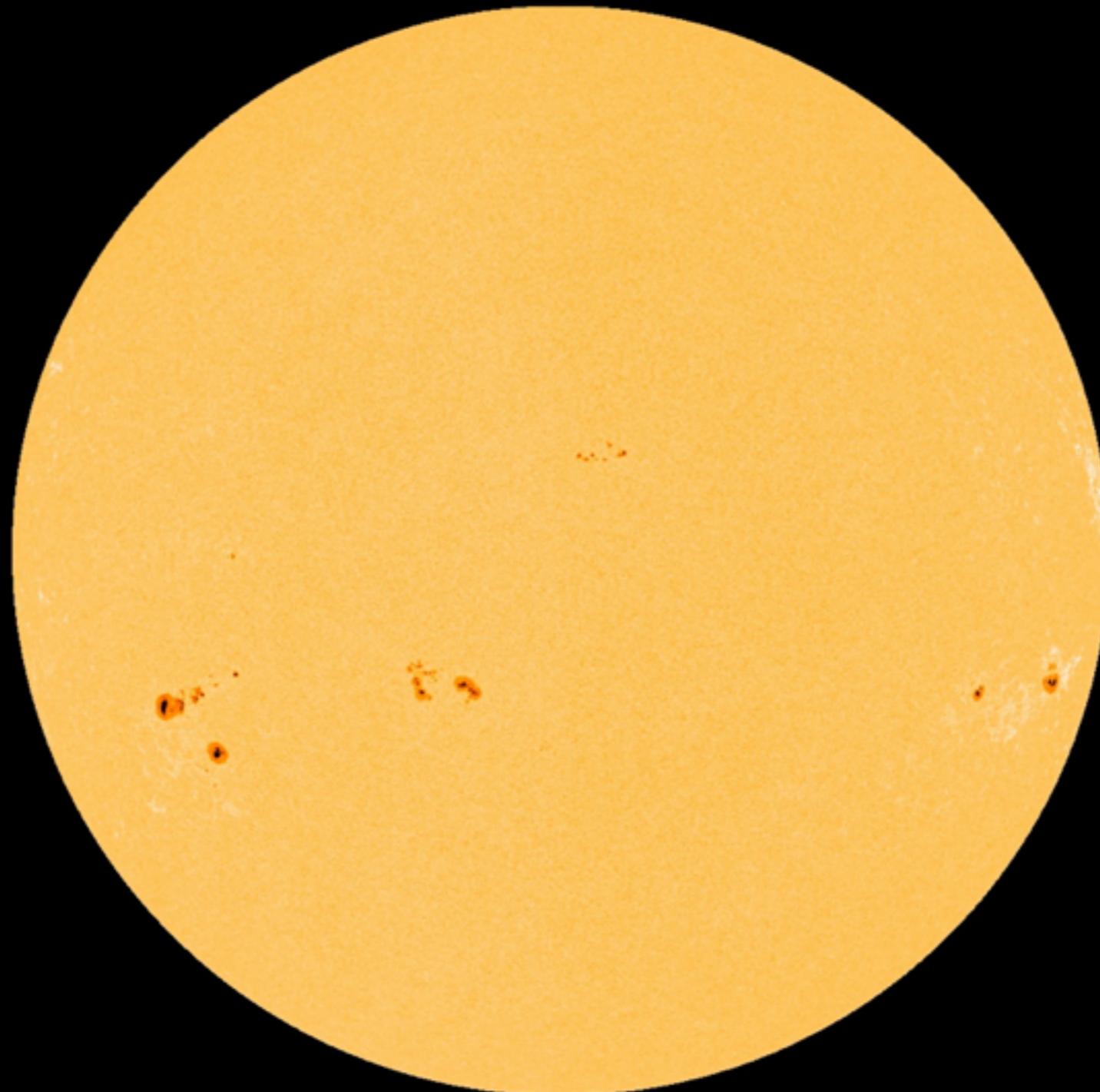


La Terre sous les feux du Soleil

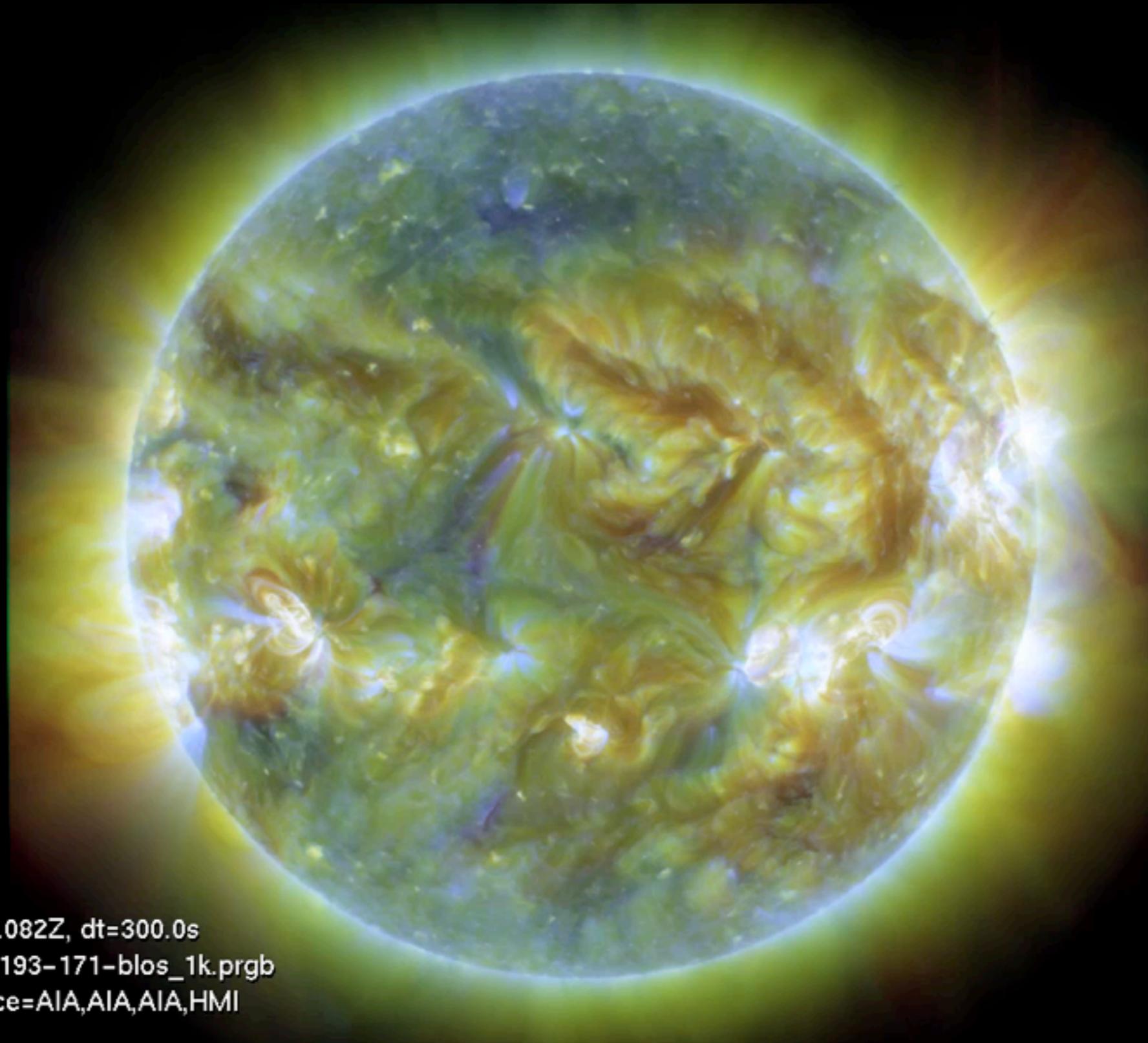


SDO/HMI Quick-Look Continuum: 20131029_163000

T. Dudok de Wit

Observatoire des Sciences de l'Univers en régions Centre, CNRS et Université d'Orléans

La Terre sous les feux du Soleil



ne: 2013-10-27T18:00:07.082Z, dt=300.0s
_20131027T180007_211-193-171-blos_1k.prgb
annel=211, 193, 171, source=AIA,AIA,AIA,HMI

T. Dudok de Wit

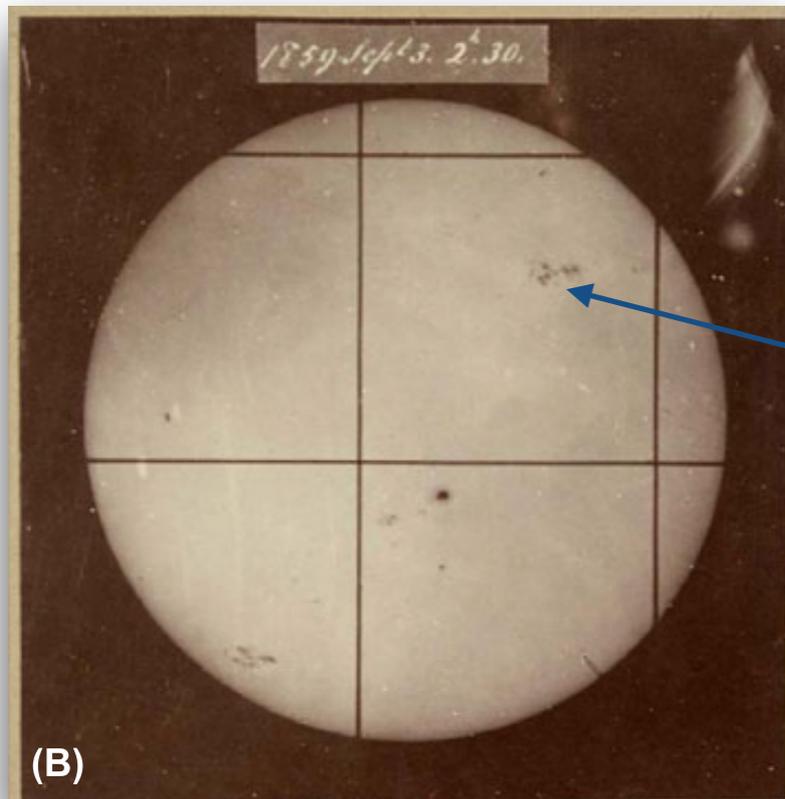
Observatoire des Sciences de l'Univers en régions Centre, CNRS et Université d'Orléans

1859

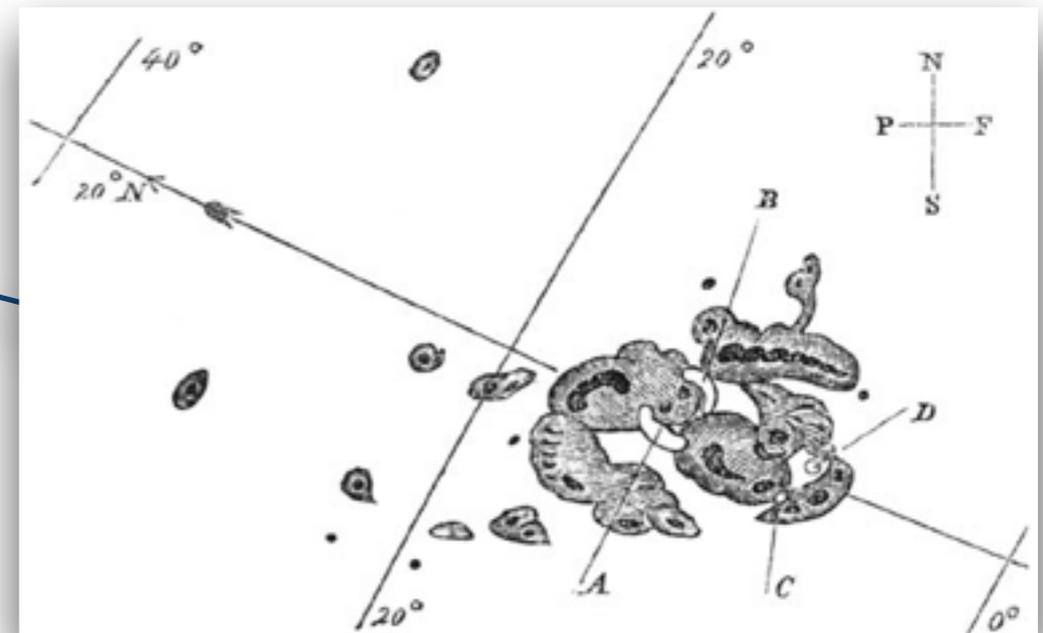
Septembre 1859

- Le 1er septembre 1859 Richard Carrington et Richard Hodgson observent une grosse tache solaire...

...et assistent à une violente éruption solaire

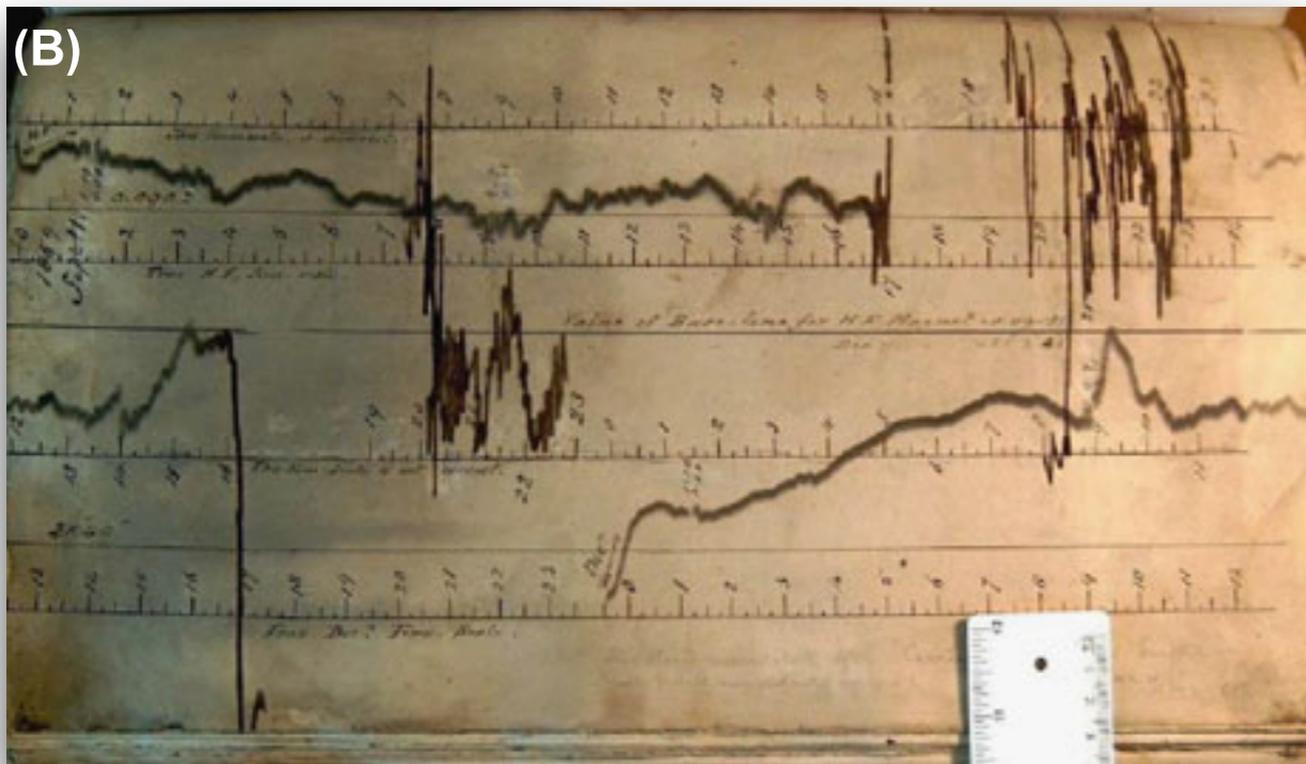


Tache solaire observée le 3/9/1859



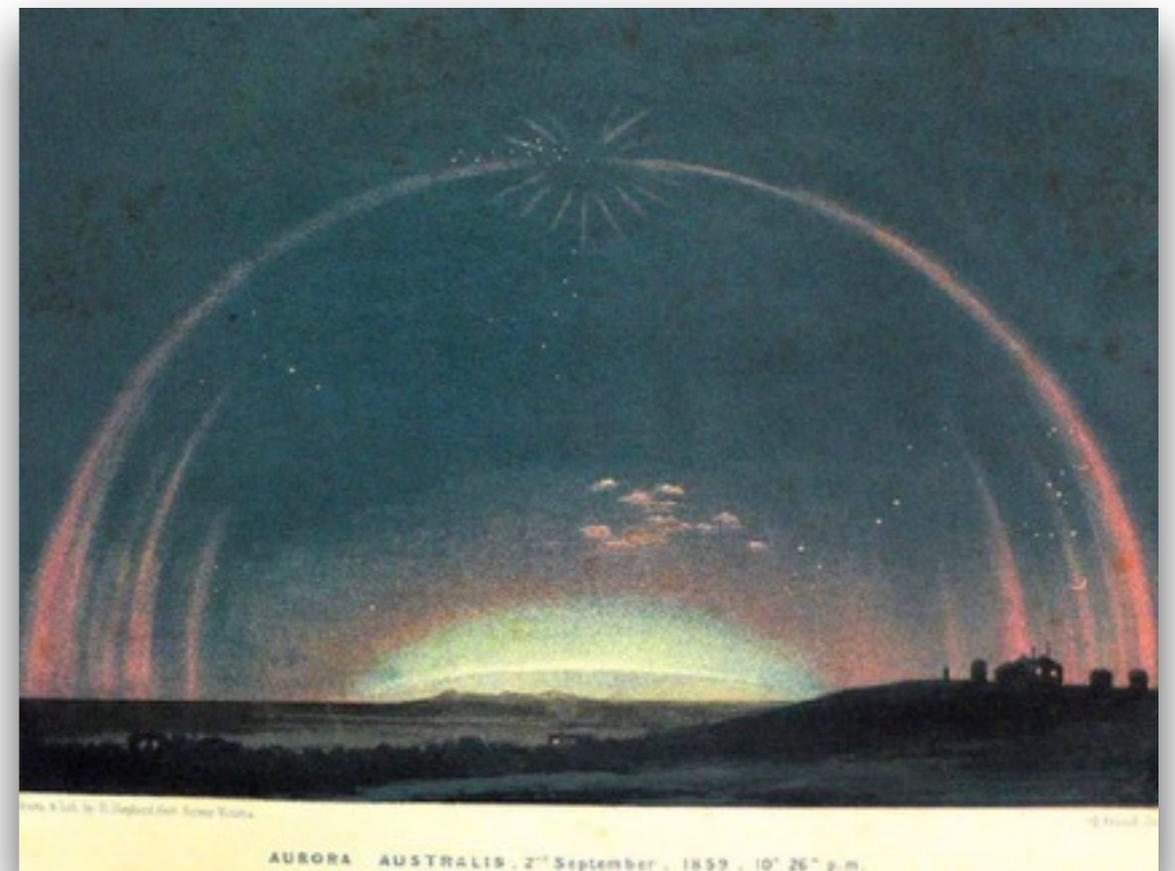
Septembre 1859

- Dans les heures qui suivent, la Terre est affectée par diverses perturbations



Champ magnétique terrestre observé à Greenwich (1 septembre 1859)
[Cliver & Keer, 2012]

Aurores observées à Melbourne (37° S)
[Cliver & Keer, 2012]



Septembre 1859

■ Communication entre deux opérateurs de télégraphe :

Boston.--"Please cut off your battery entirely from the line for fifteen minutes."

Portland.--"Will do so. It is now disconnected."

Boston.--"Mine is also disconnected and we are working with the auroral current. How do you receive my writing?"

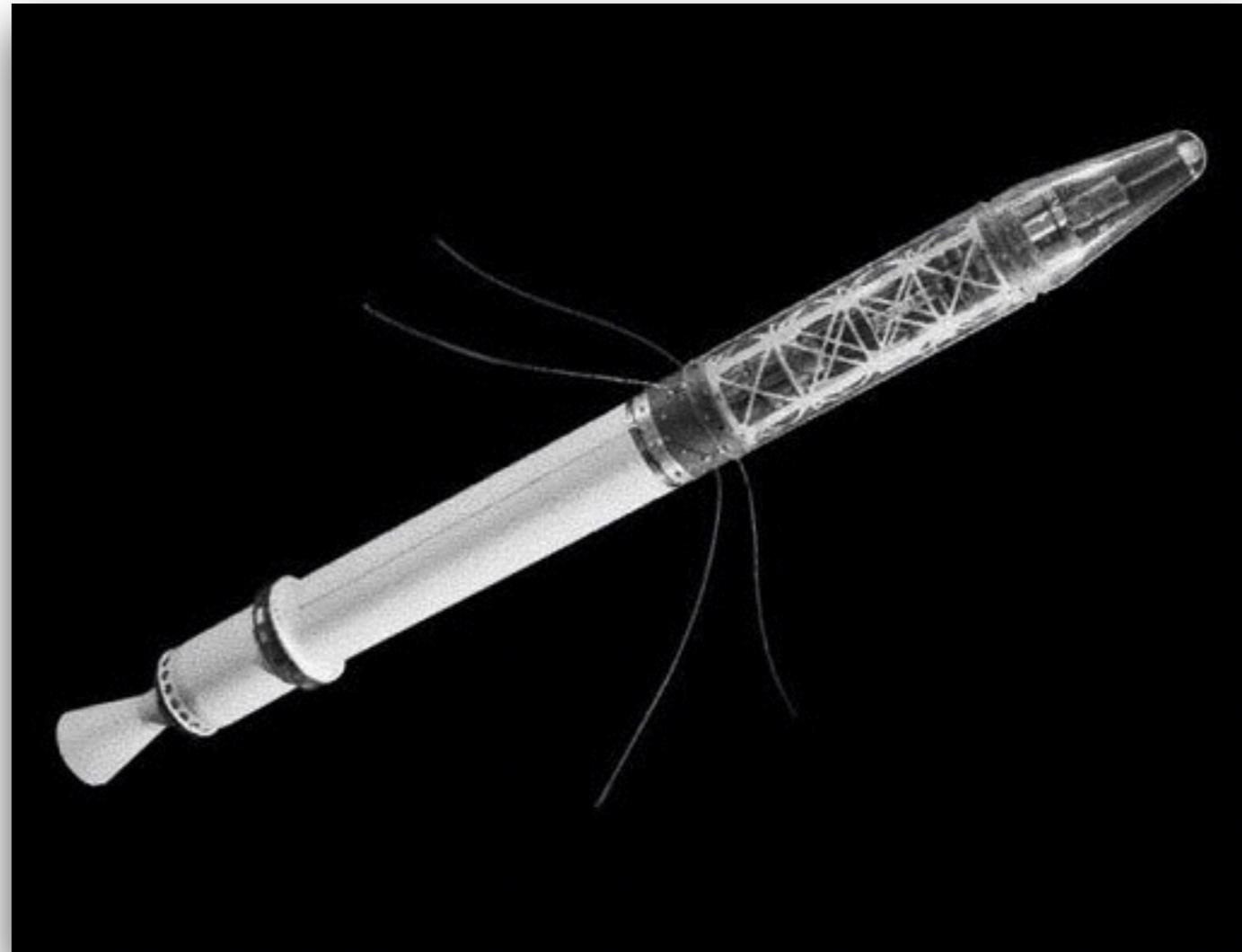
Portland.--"Better than with our batteries on. Current comes and goes gradually ..."



1958

Février 1958

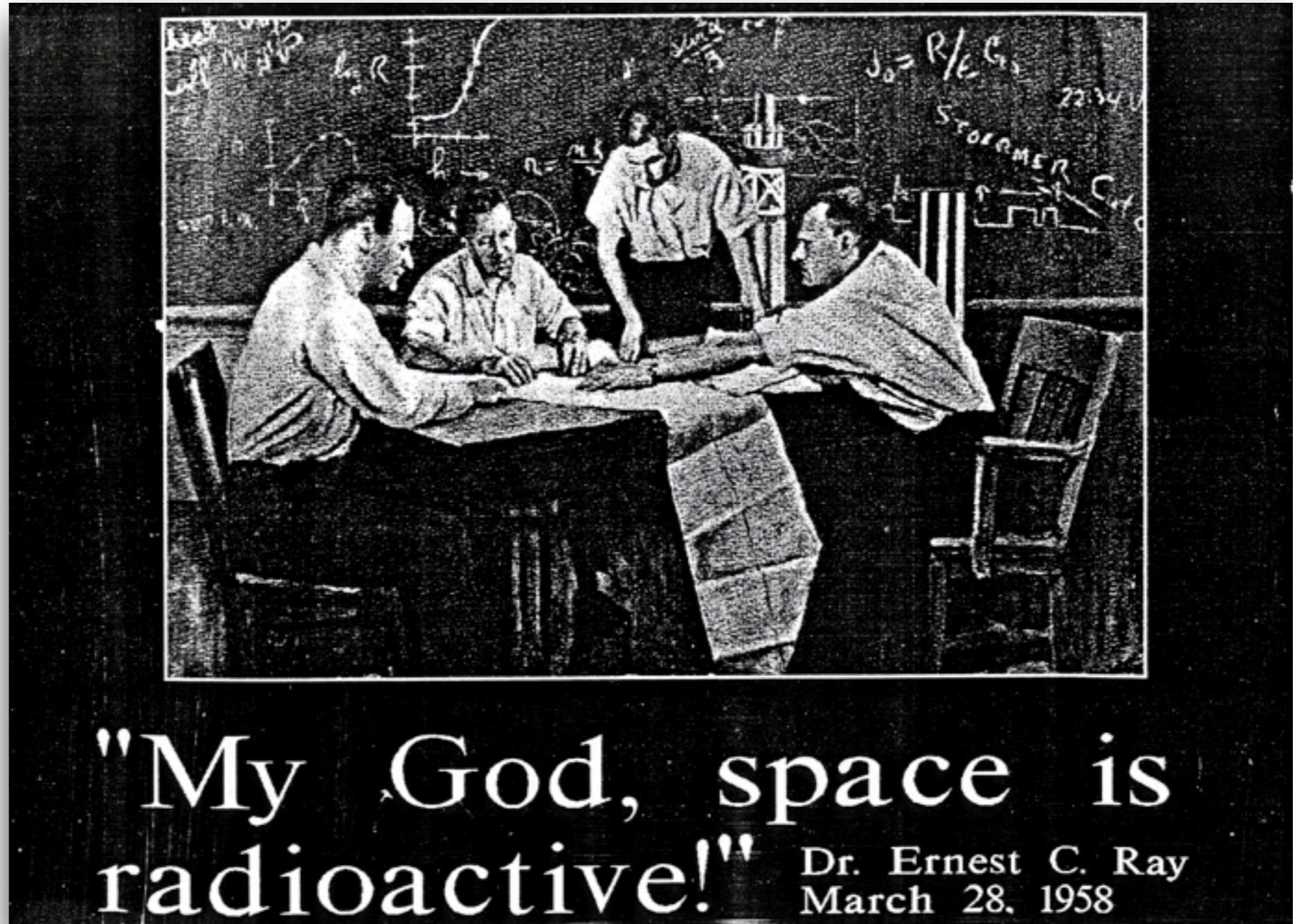
- Lancement du premier satellite américain : Explorer-1



... équipé d'un compteur de Geiger-Müller

Février 1958

- Le compteur sature peu après le lancement



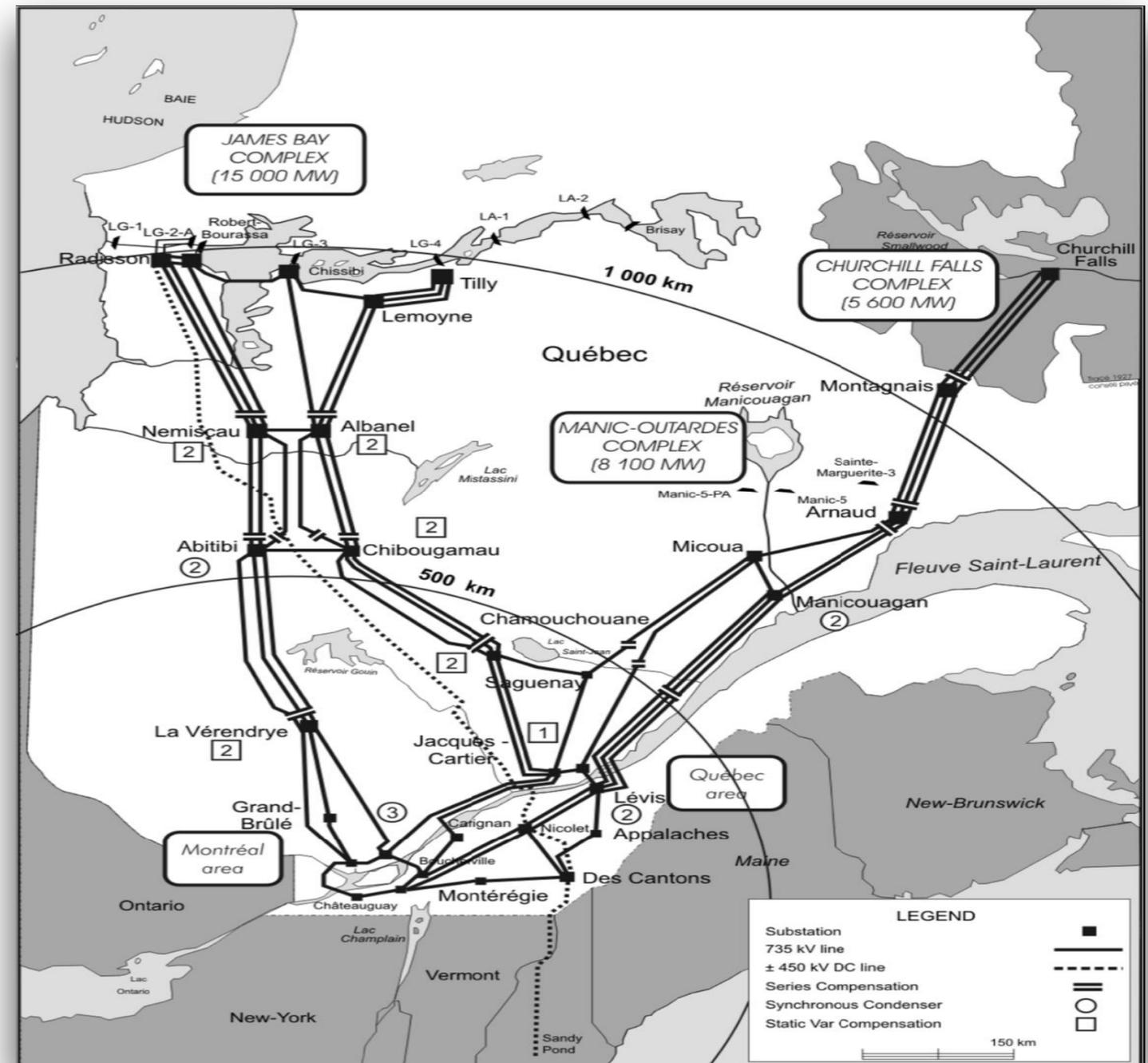
J. Allen (1999)

1989

Mars 1989

- 6 millions de Québécois privés de courant pendant plusieurs heures, en plein hiver
- Coût : env 100 M\$

*Réseau électrique de
Hydro-Québec*



2003

■ Bulletin du Space Environment Center (NOAA, USA)

Official Space Weather Advisory issued by NOAA Space
Environment Center, Boulder, Colorado, USA
SPACE WEATHER ADVISORY BULLETIN #03- 2
2003 October 21 at 06:11 p.m. MDT

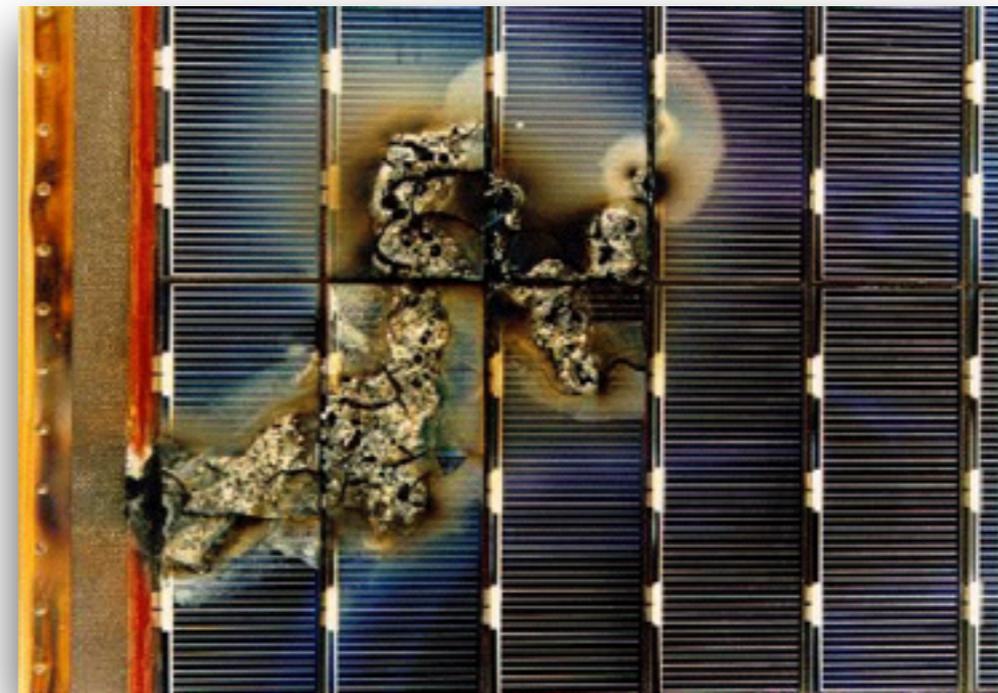
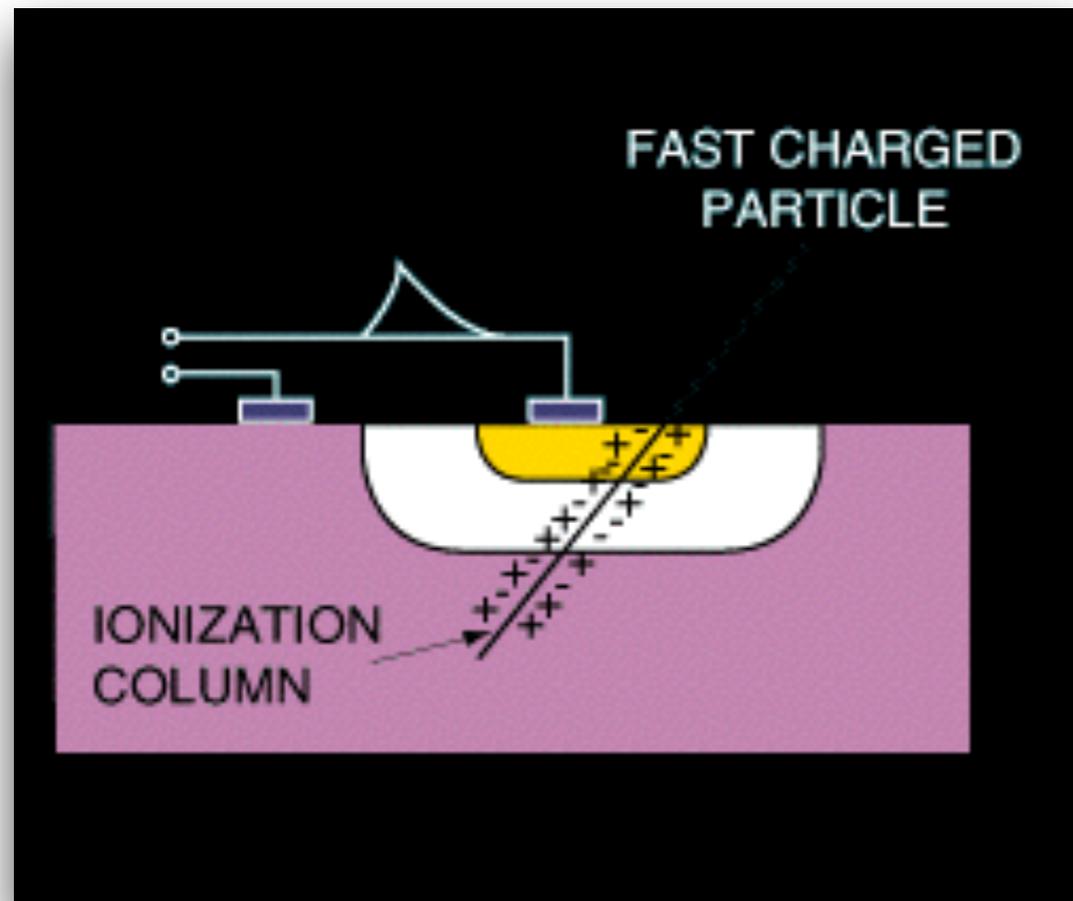
**** INTENSE ACTIVE REGIONS EMERGE ON SUN ****

Two very dynamic centers of activity have emerged on the sun (...). These eruptions may herald the arrival of a volatile active center with the potential to impact various Earth systems (...). Agencies impacted by solar flare radio blackouts, geomagnetic storms, and solar radiation storms may experience disruptions over this two-week period. (...)

Octobre 2003

- Plusieurs satellites sont endommagés
 - ADEOS-II (Japon) : perdu
 - ACE : spectromètre détruit
 - CHIPS : satellite perdu pendant 27h
 - SMART-1 : inopérant pendant 3 jours
 - Mars Express : inopérant pendant 15h
 - KODAMA : inopérant pendant 8 jours
 - etc.
- Des dizaines de satellites ont eu des problèmes techniques
- Satellites commerciaux et militaires: probablement aussi affectés

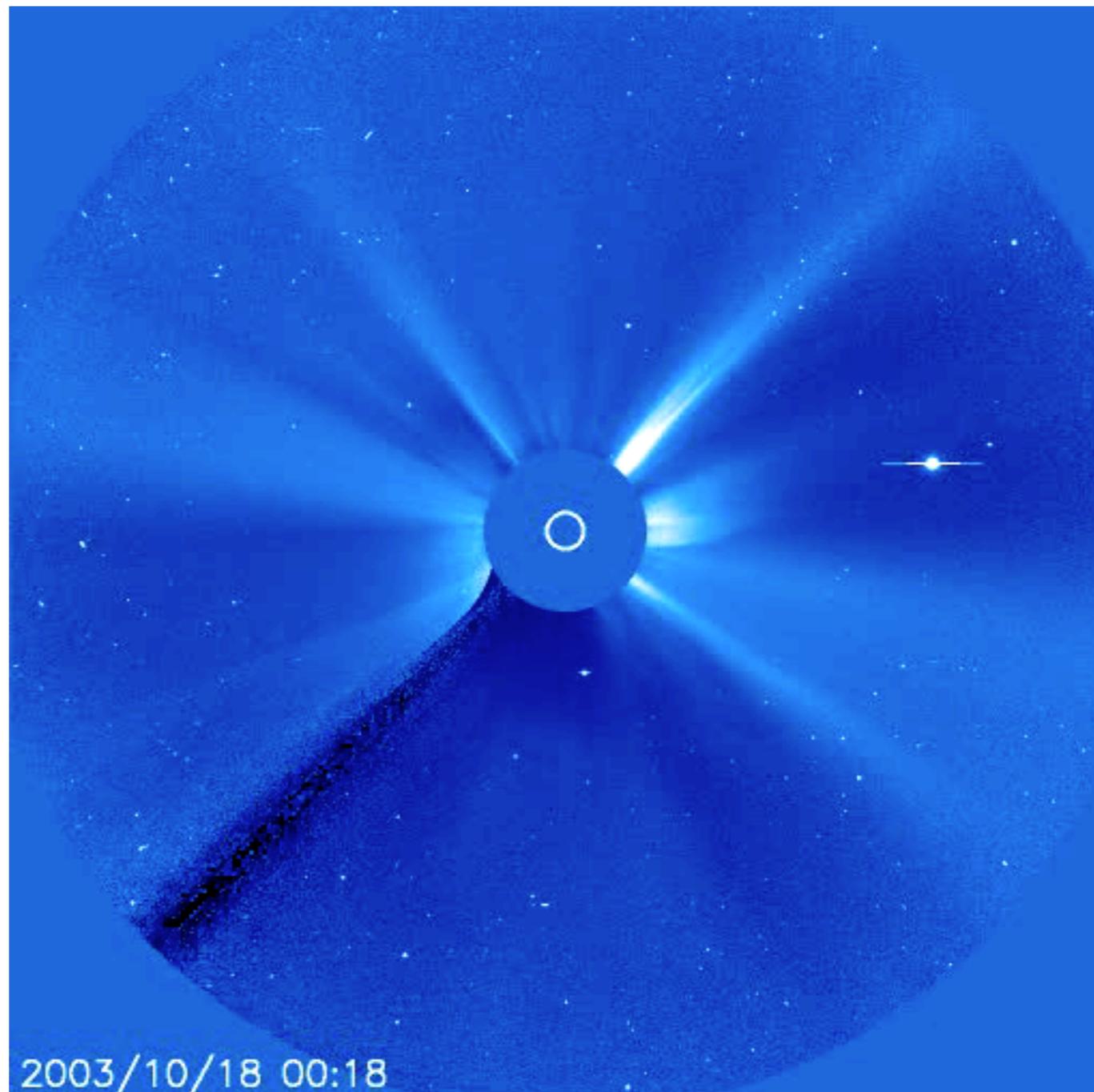
- Dégâts liés aux protons/électrons de haute énergie
 - impact : composants électroniques moins performants, voire détruits



*Après un claquage sur un
panneau photovoltaïque*

Octobre 2003

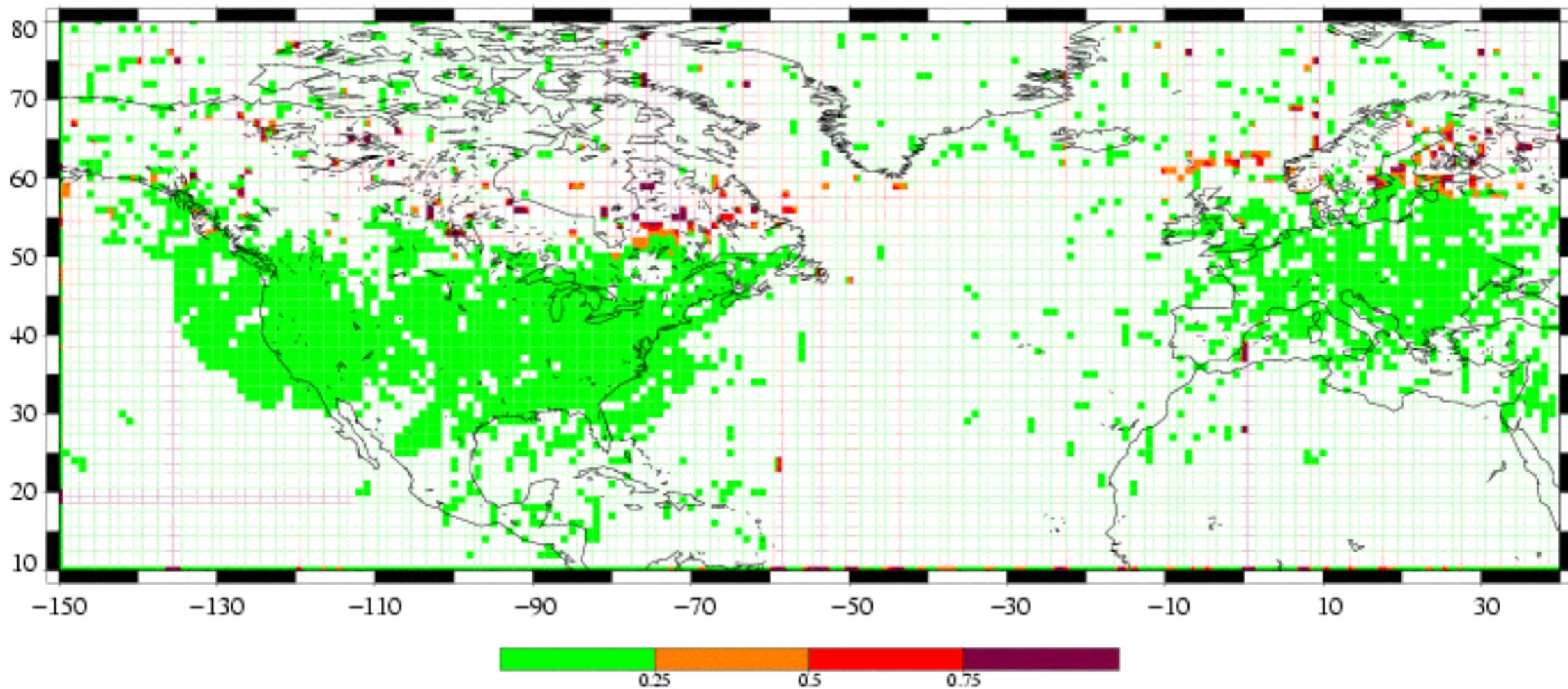
- Exemple de détecteur perturbé :
coronographe à bord du satellite SoHO



Octobre 2003

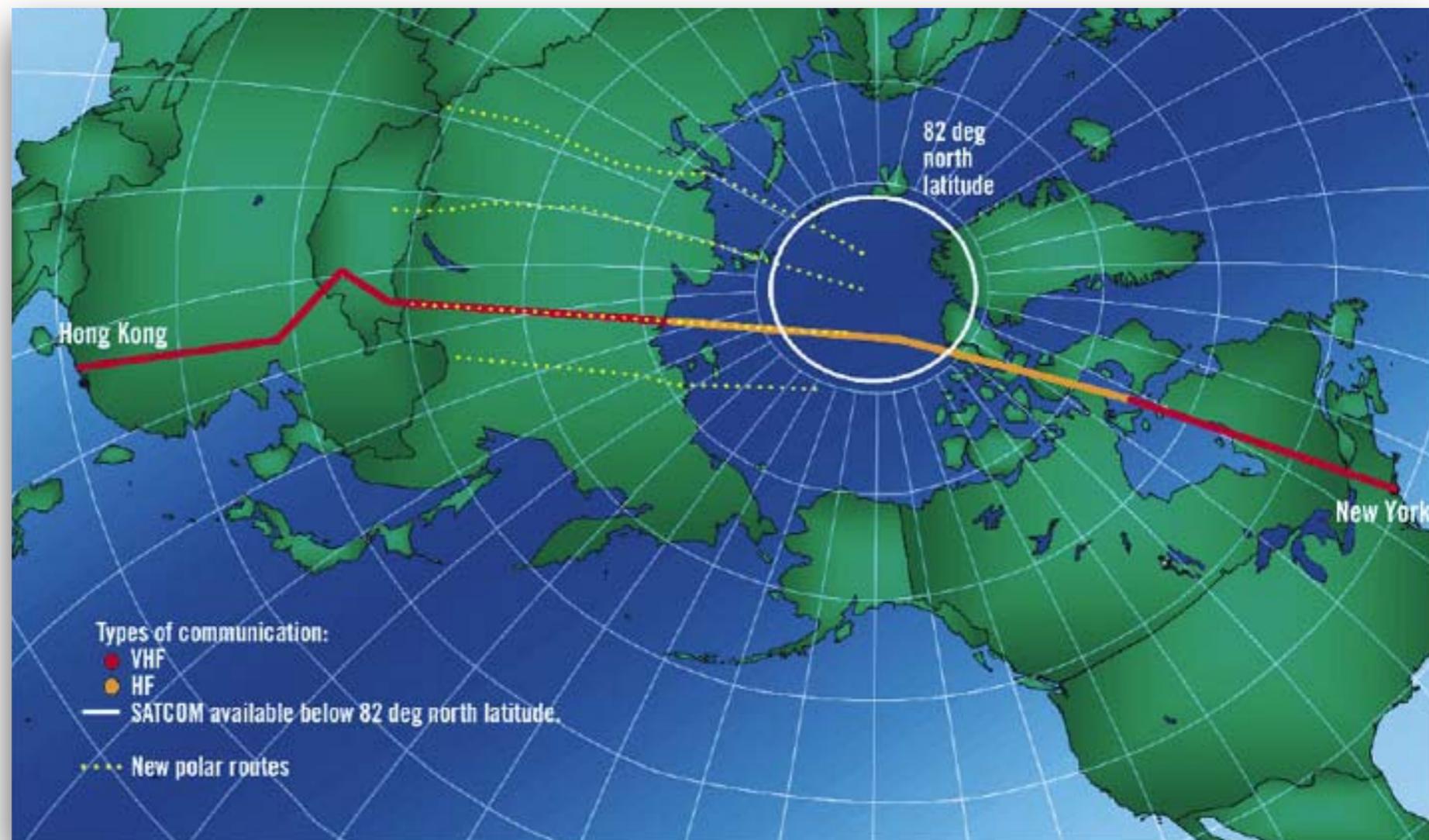
- GPS inopérants pendant des heures en raison de la mauvaise réception
 - impact: avions en retard, forages interrompus, lancement de missiles interrompu, ...

Perturbation de la réception GPS [CLS]



Octobre 2003

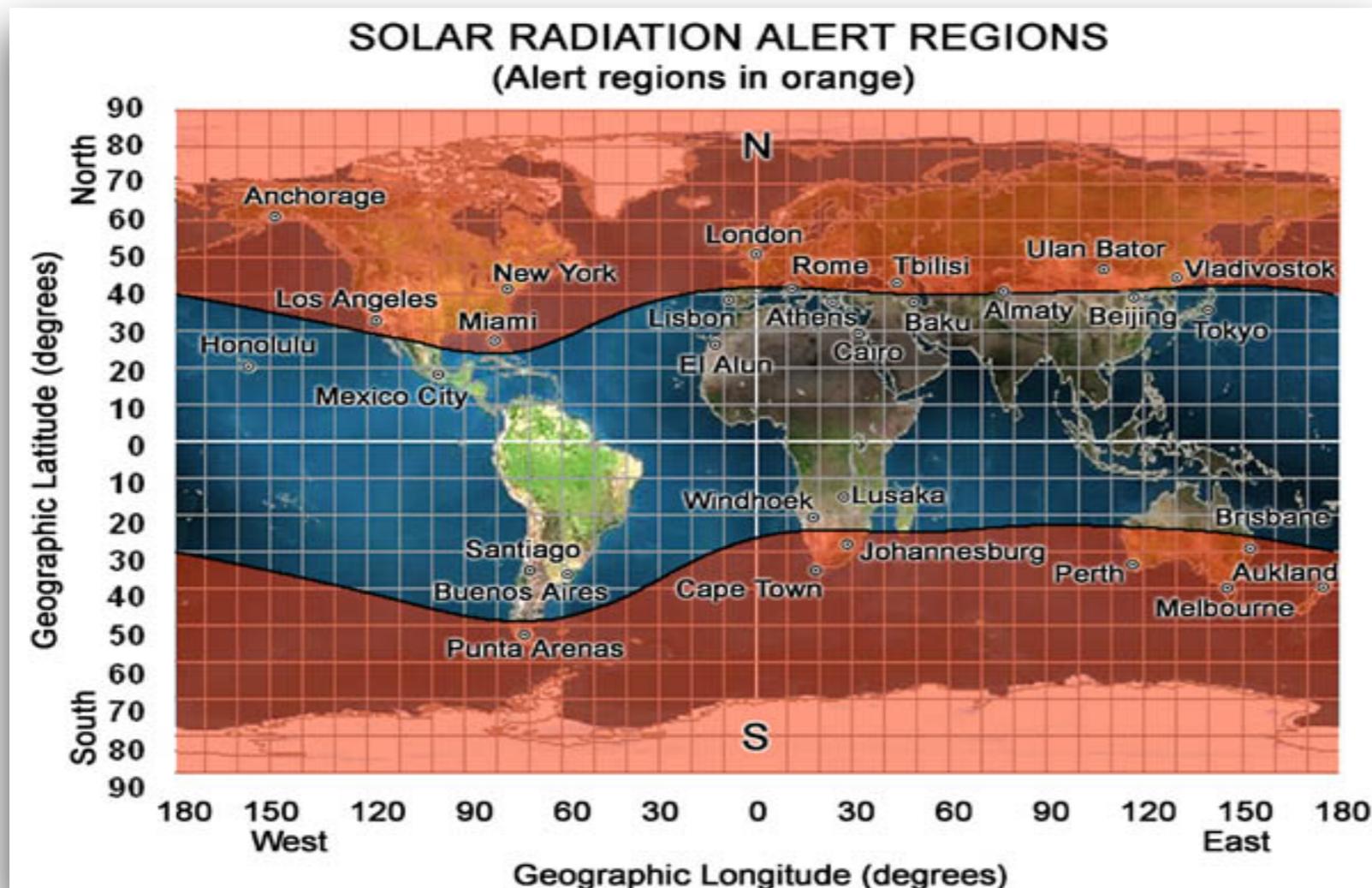
- Une douzaine de vols transpolaires détournés: perte de communication et danger d'irradiation
 - impact : surcoût de 30-100 k\$ / vol



*Exemple de route
transpolaire*

Octobre 2003

- En raison des risques de radiation
 - avions devant voler à plus basse altitude
 - astronautes confinés pendant qq heures dans la station spatiale

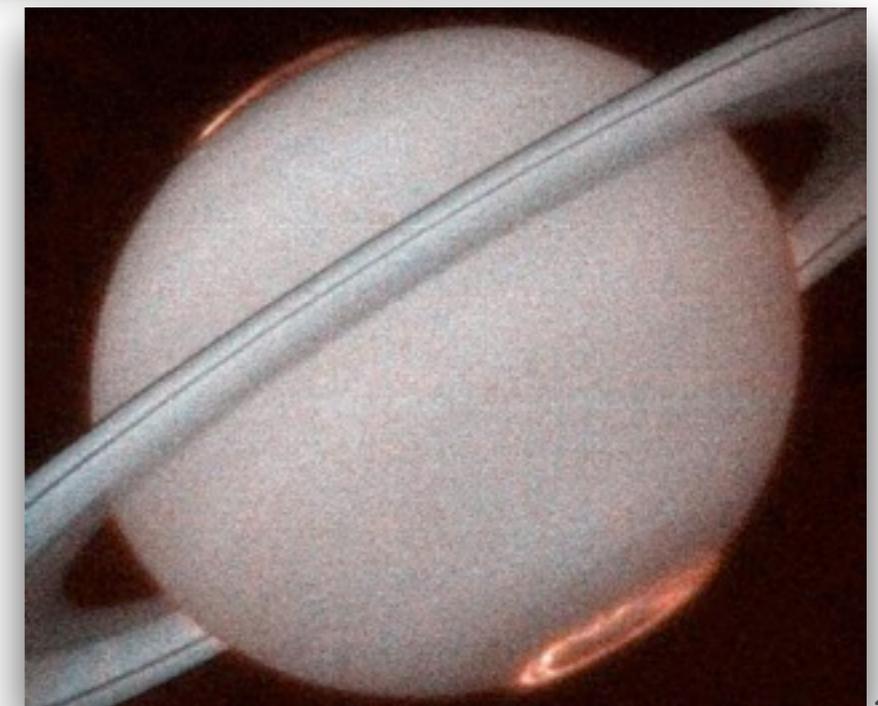
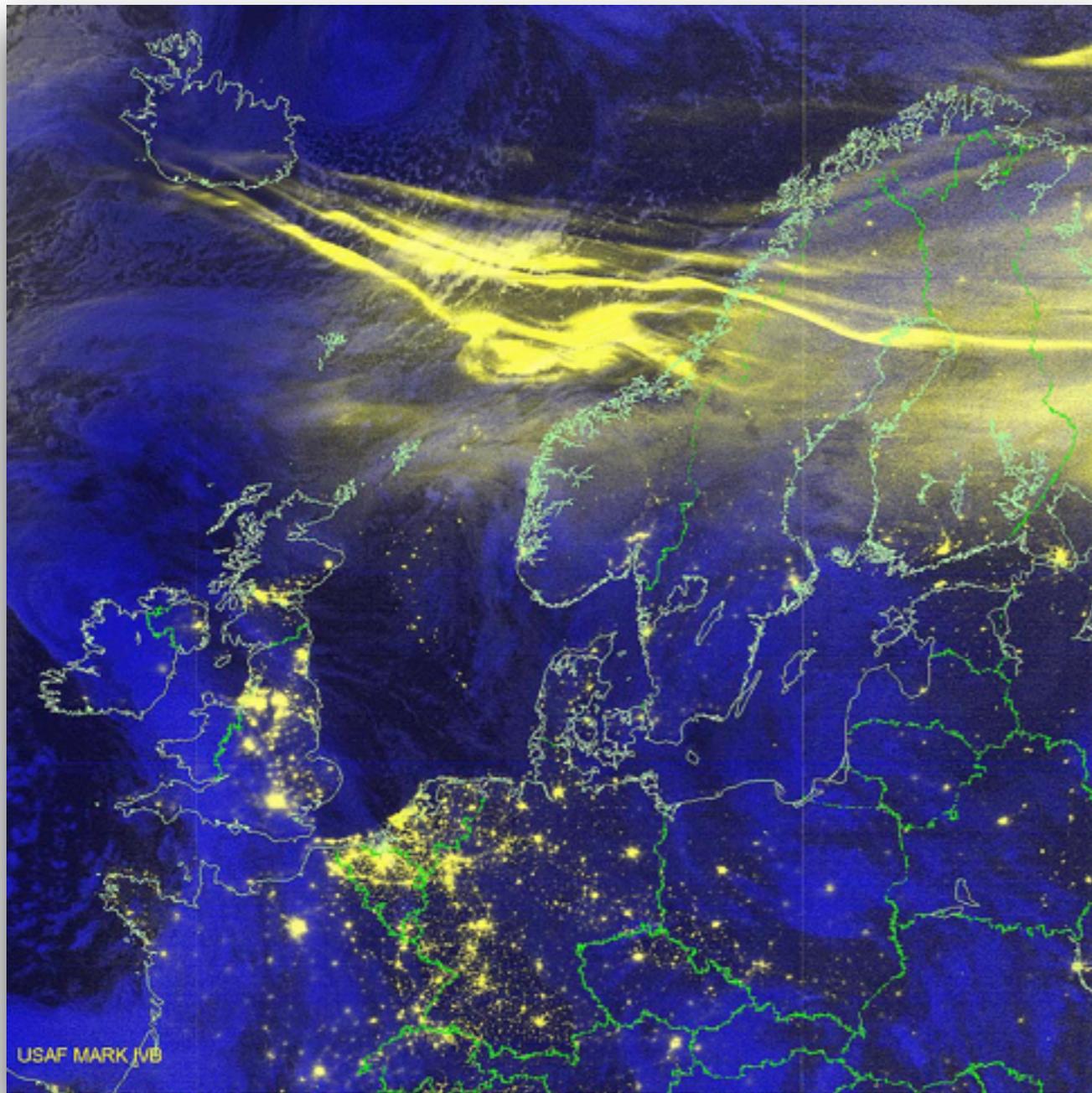


Régions à risque pour l'aviation civile [NOAA]

Octobre 2003

- De superbes aurores, en partie visibles depuis la France

Stéphane Vetter



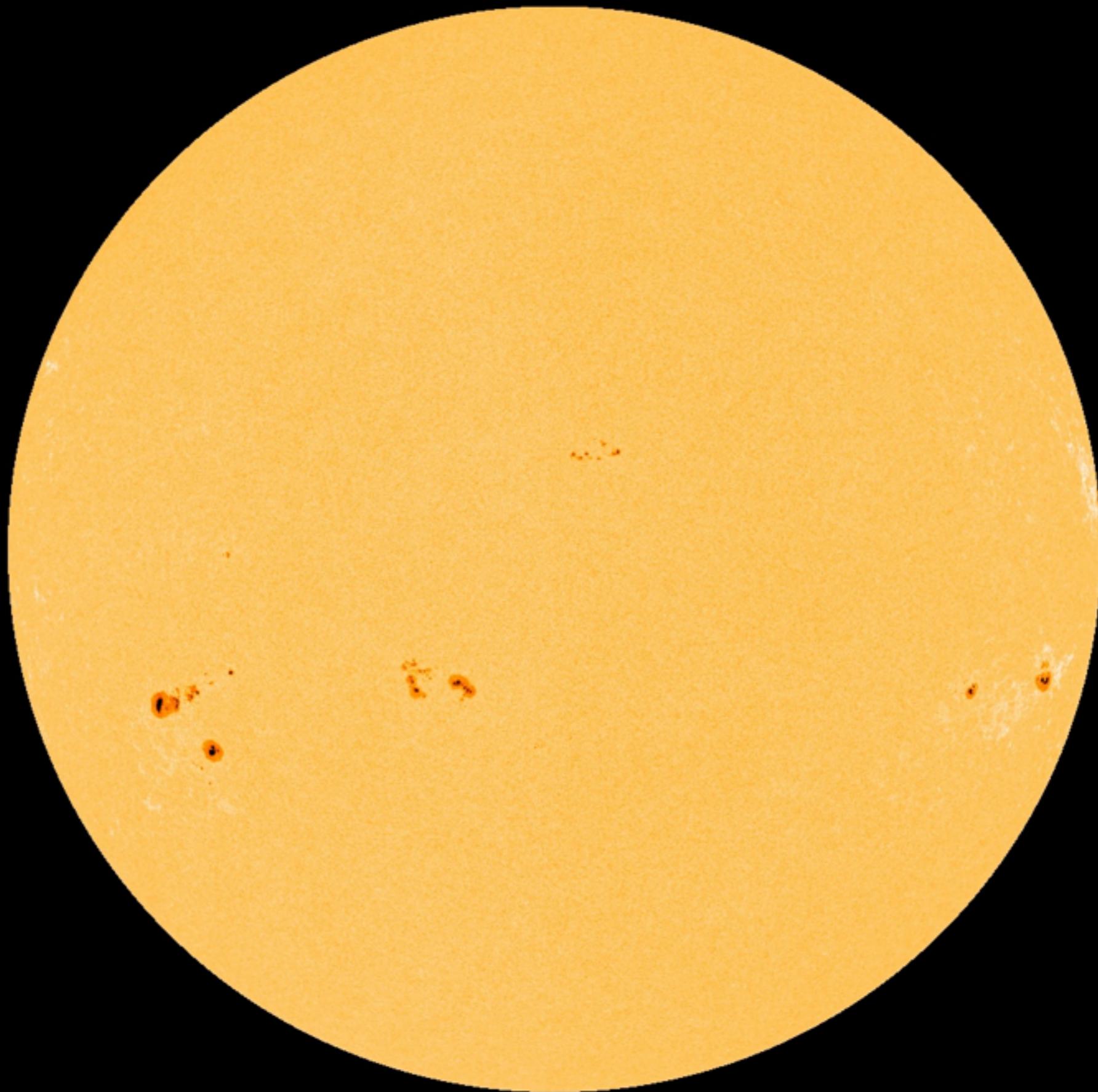
etc.

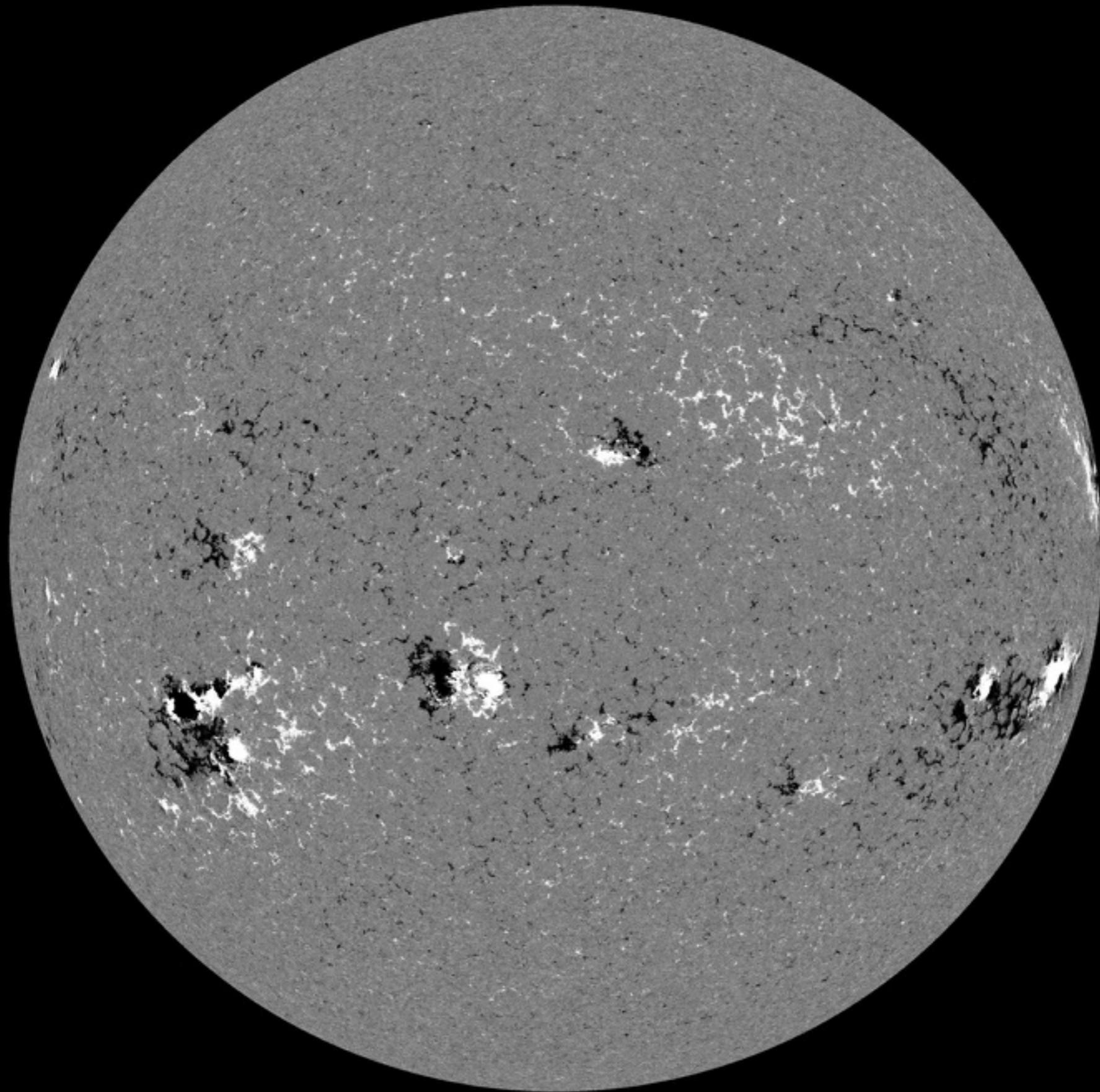
**en moyenne 1-2
événements sérieux par an**

**toutes ces perturbations
ont une cause solaire**

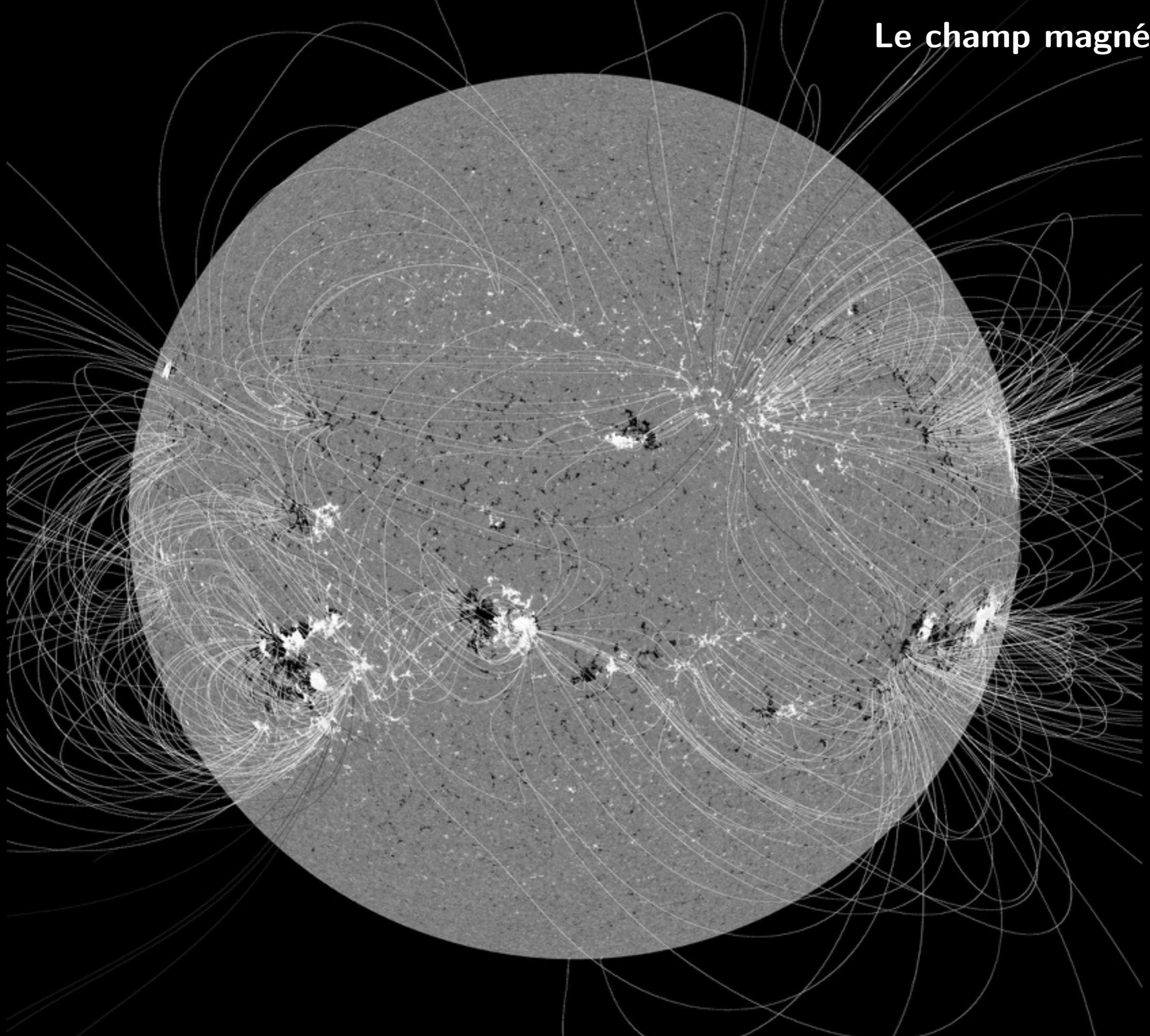
Les mécanismes physiques



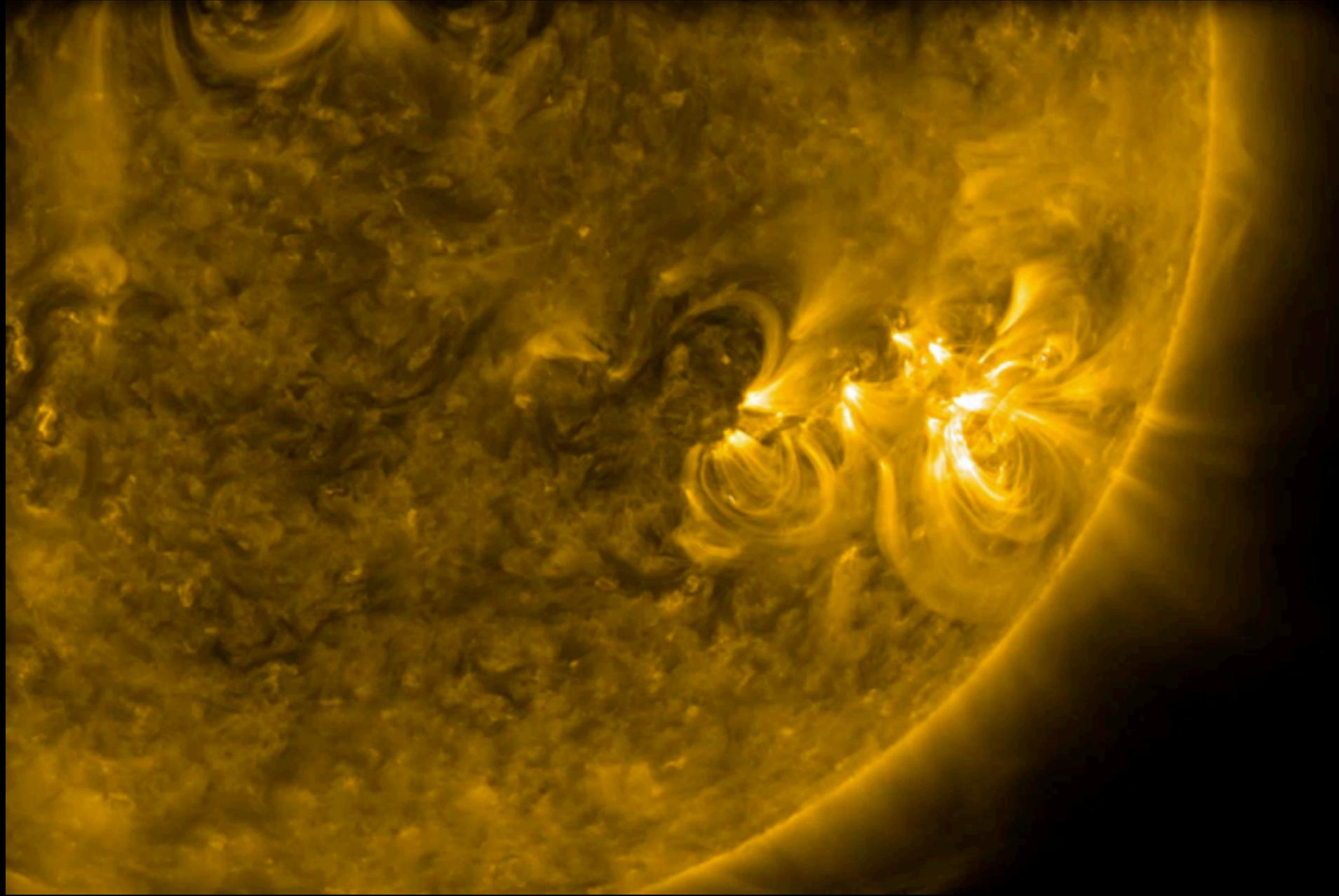
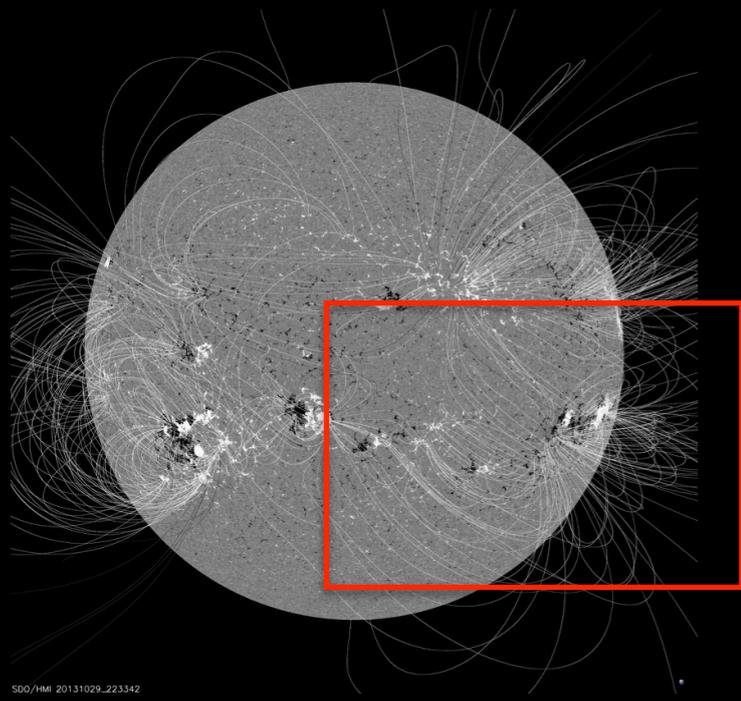




Le champ magnétique

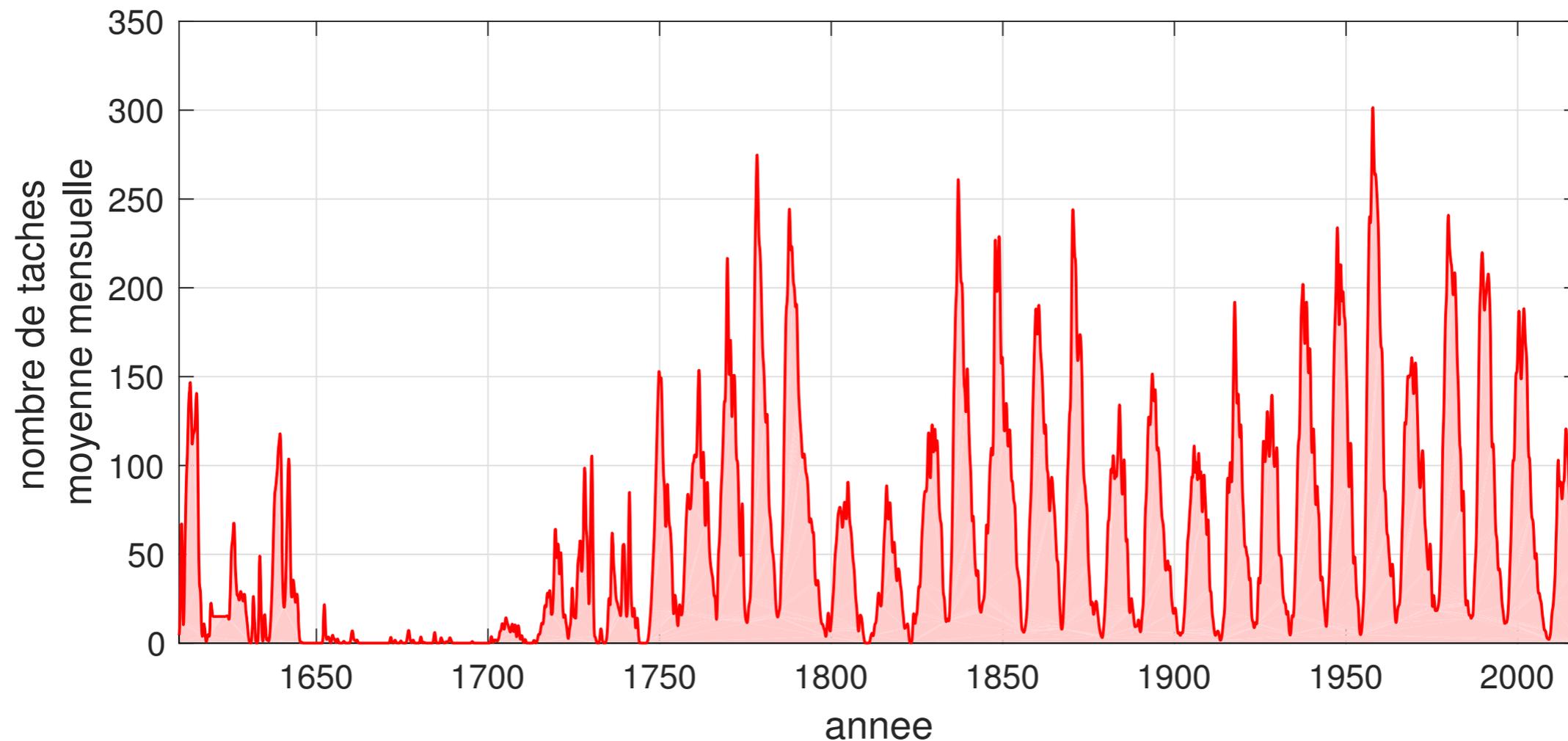


Le champ magnétique



Cycle d'activité solaire

- L'activité solaire varie de manière cyclique (env. 11 ans)
 - ceci se manifeste notamment par le nombre de taches
 - la modulation du champ magnétique est due à la dynamo solaire



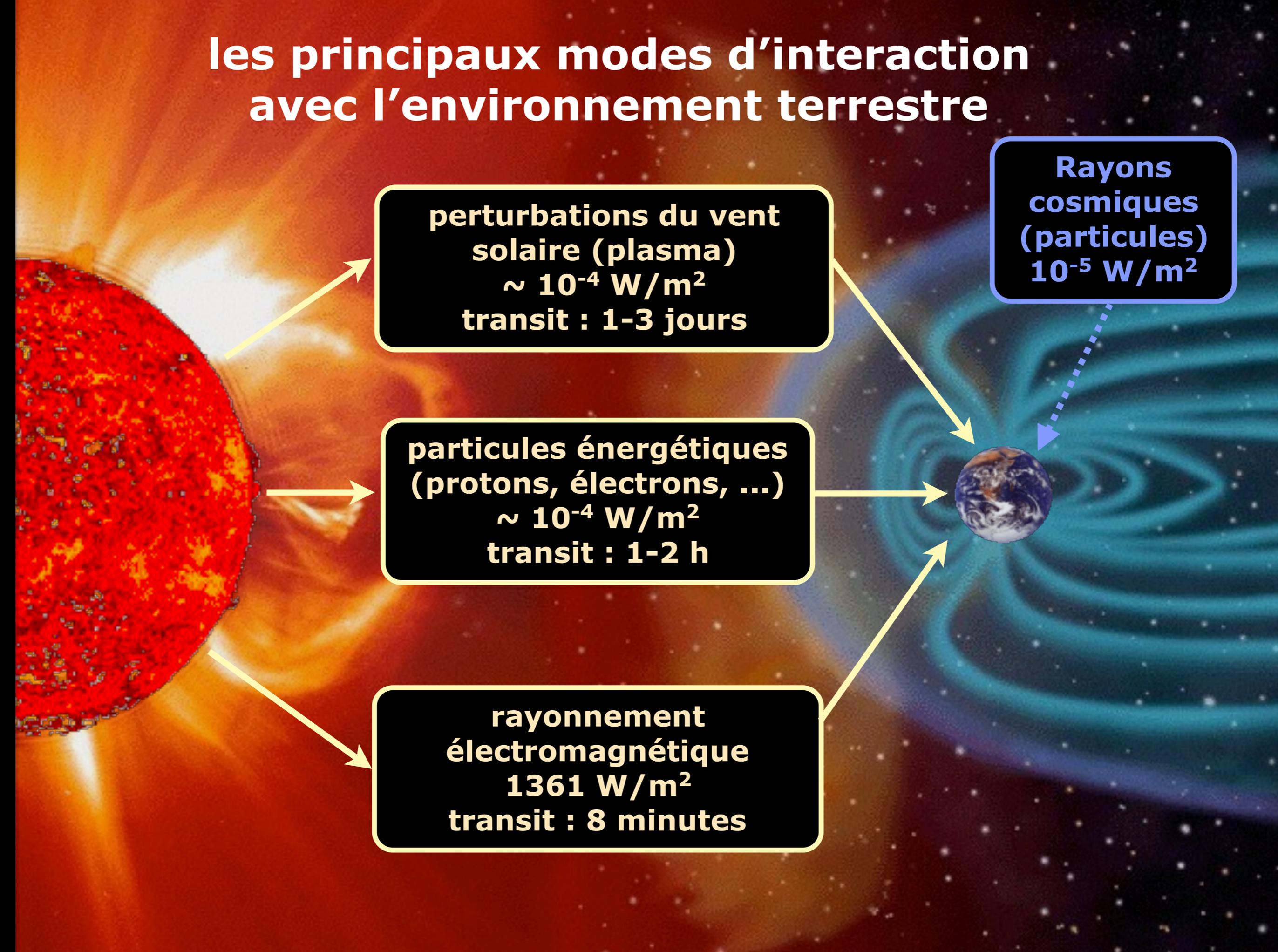
les principaux modes d'interaction avec l'environnement terrestre

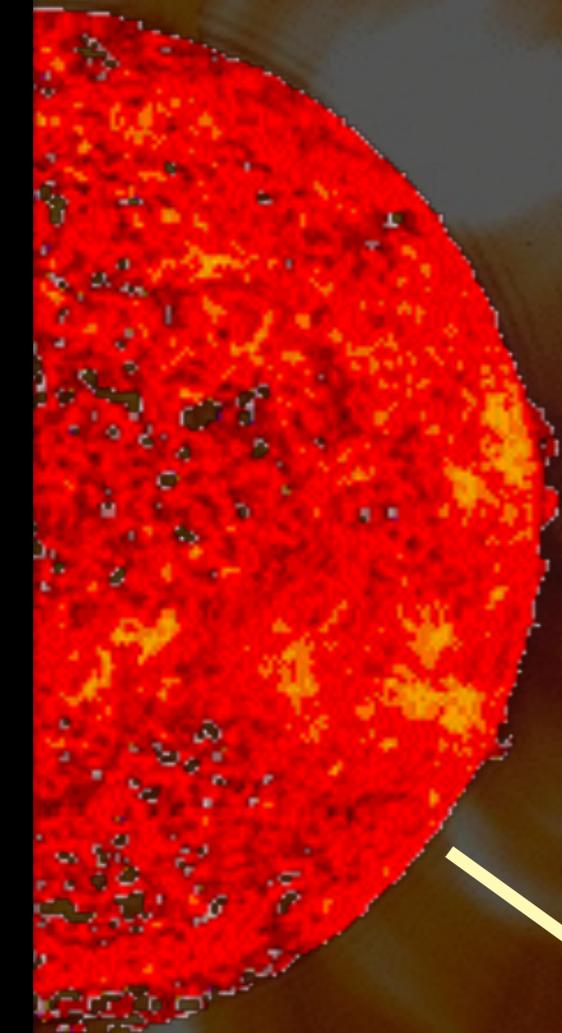
perturbations du vent solaire (plasma)
 $\sim 10^{-4} \text{ W/m}^2$
transit : 1-3 jours

particules énergétiques (protons, électrons, ...)
 $\sim 10^{-4} \text{ W/m}^2$
transit : 1-2 h

rayonnement électromagnétique
1361 W/m²
transit : 8 minutes

Rayons cosmiques (particules)
 10^{-5} W/m^2



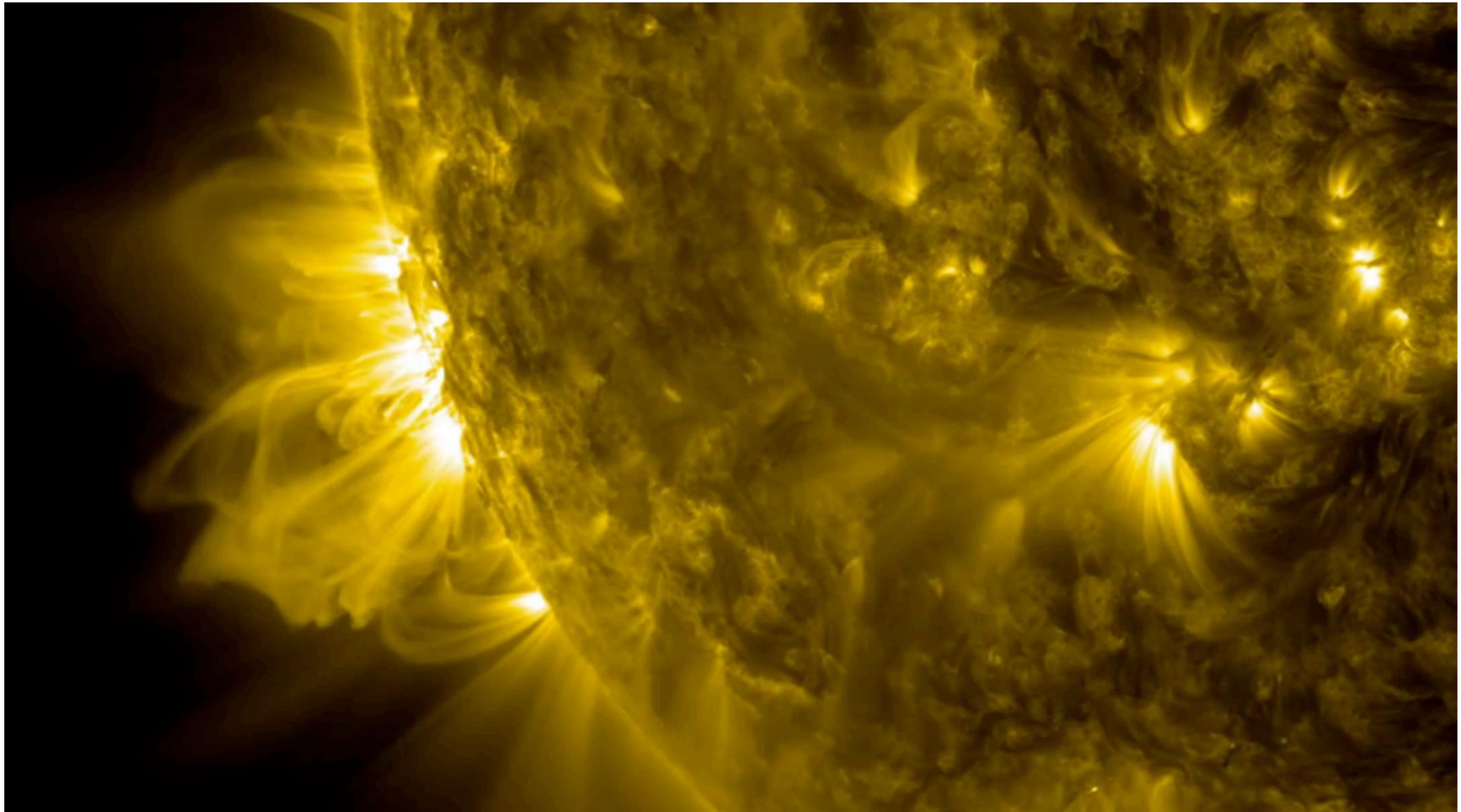


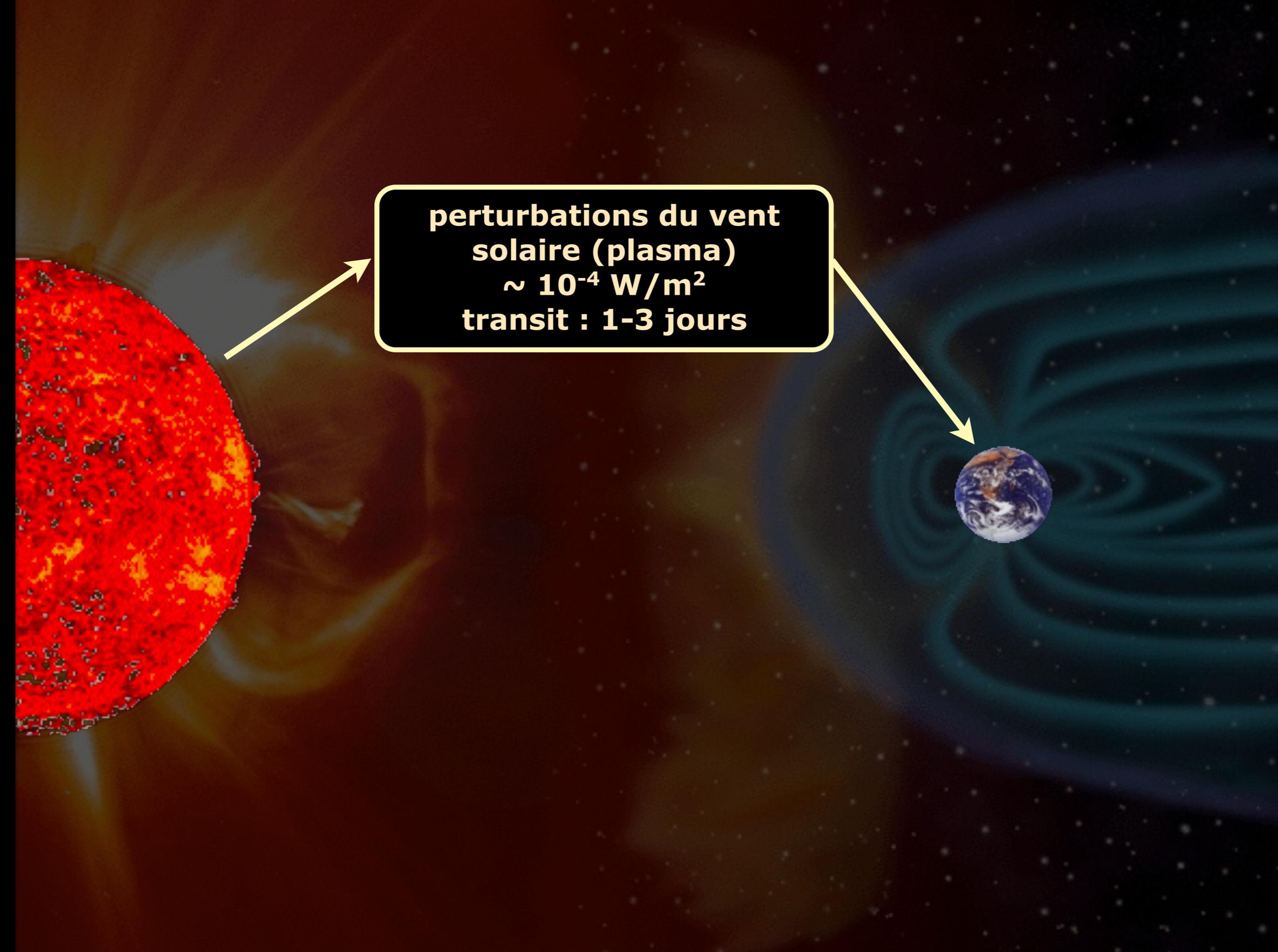
**rayonnement
électromagnétique
1361 W/m²
transit : 8 minutes**



Rayonnement

- Lors d'éruptions, forte augmentation du rayonnement X/UV
 - Impact : échauffement et ionisation de l'atmosphère, communications radio perturbées, satellites perdant de l'altitude, ...

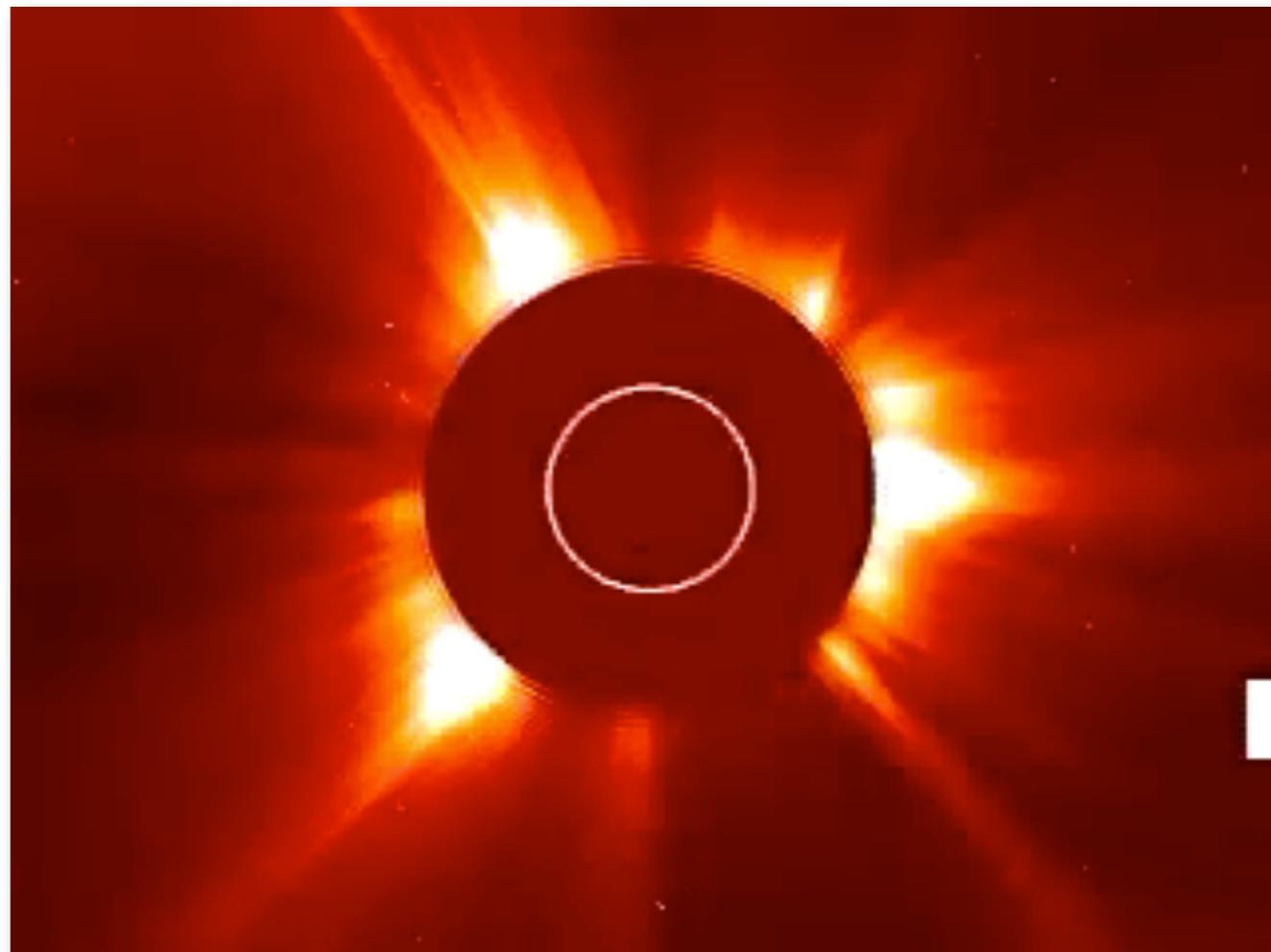


The diagram shows the Sun on the left as a large, textured red and orange sphere. From the Sun, a stream of solar wind (plasma) flows towards the right. In the center, a black box with a yellow border contains text describing perturbations in this wind. On the right, the Earth is shown as a small blue and white sphere, with concentric blue and green rings around it representing magnetic field lines or plasma structures. Two yellow arrows point from the text box: one to the Sun and one to the Earth.

**perturbations du vent
solaire (plasma)
 $\sim 10^{-4} \text{ W/m}^2$
transit : 1-3 jours**

Le vent solaire

- Ténue ($10 \text{ particules/cm}^3$) et rapide (300-800 km/s)
- Sa génération est une des grandes énigmes de la physique
- Enjeu majeur: comprendre les grosses perturbations (CME : éjections de masse coronale)



Interaction vent-solaire magnétosphère

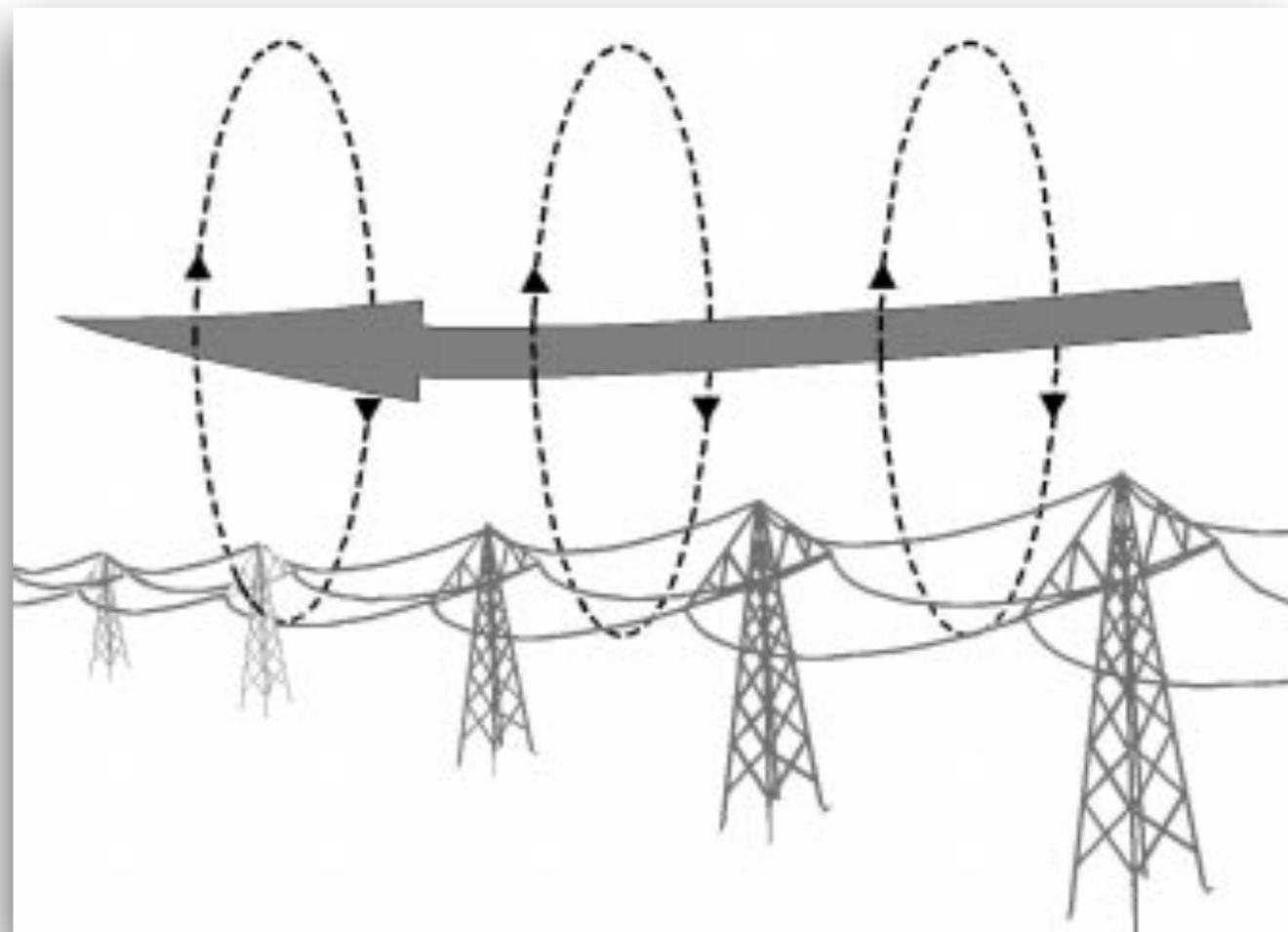
- Les variations du vent solaire engendrent sur Terre des orages magnétiques



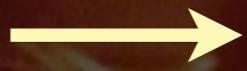
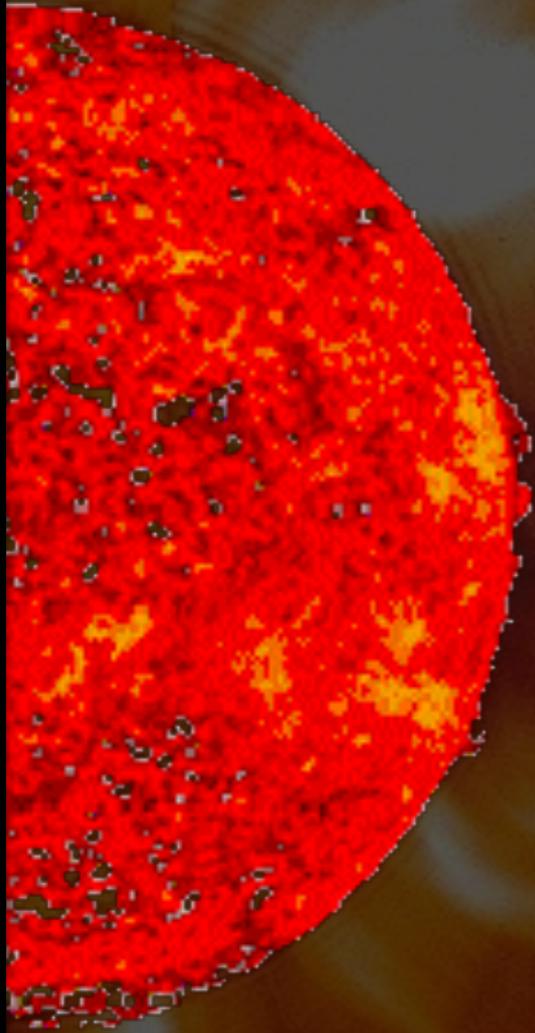
- Conséquences : conversion
énergie cinétique → énergie magnétique → énergie thermique

Interaction vent-solaire magnétosphère

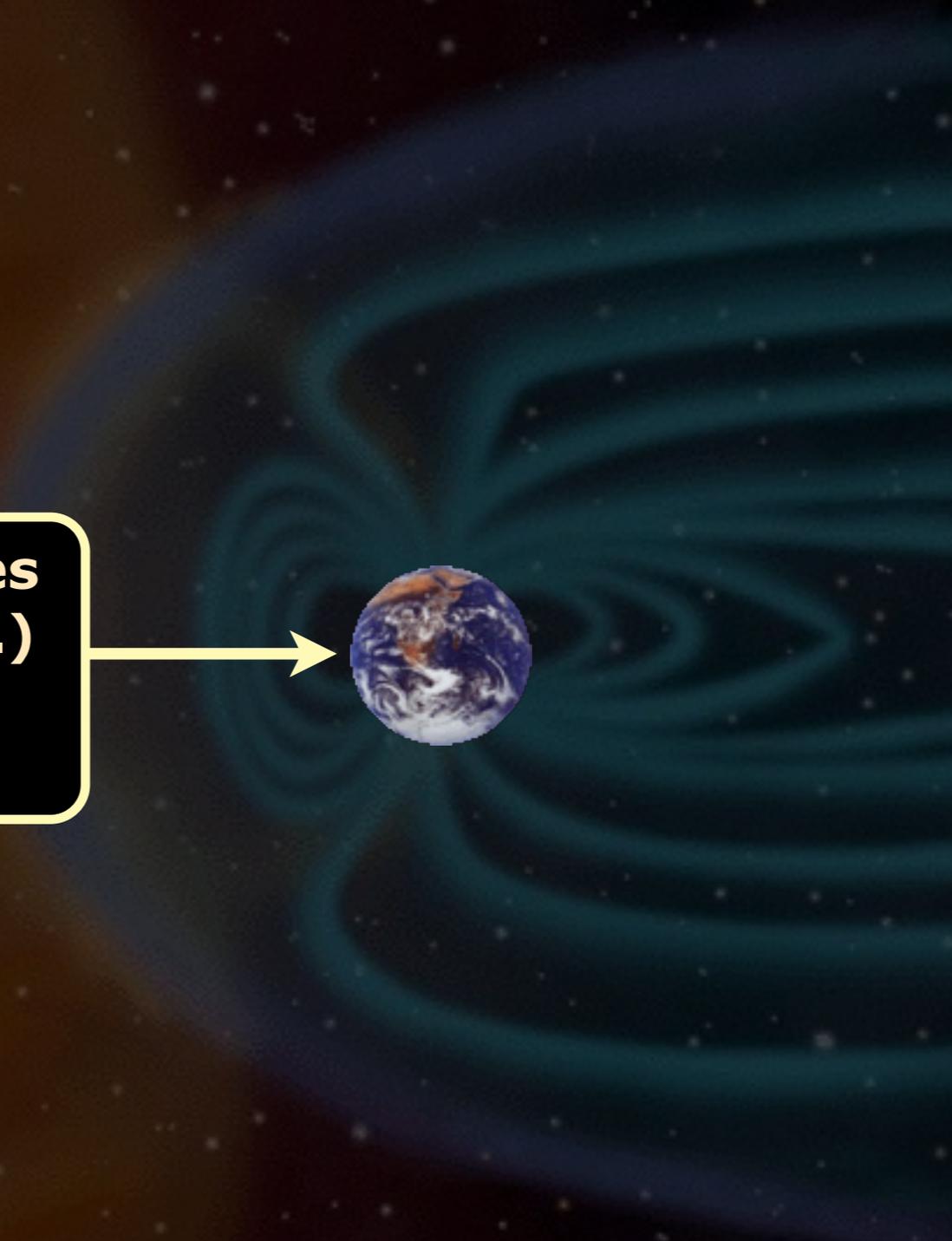
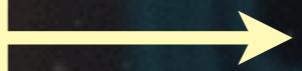
- Les variations du vent solaire provoquent
 - des variations du champ géomagnétique
 - un échauffement de la haute atmosphère (> 80 km)
 - des courants induits dans le sol
 - etc.



Génération de courants induits

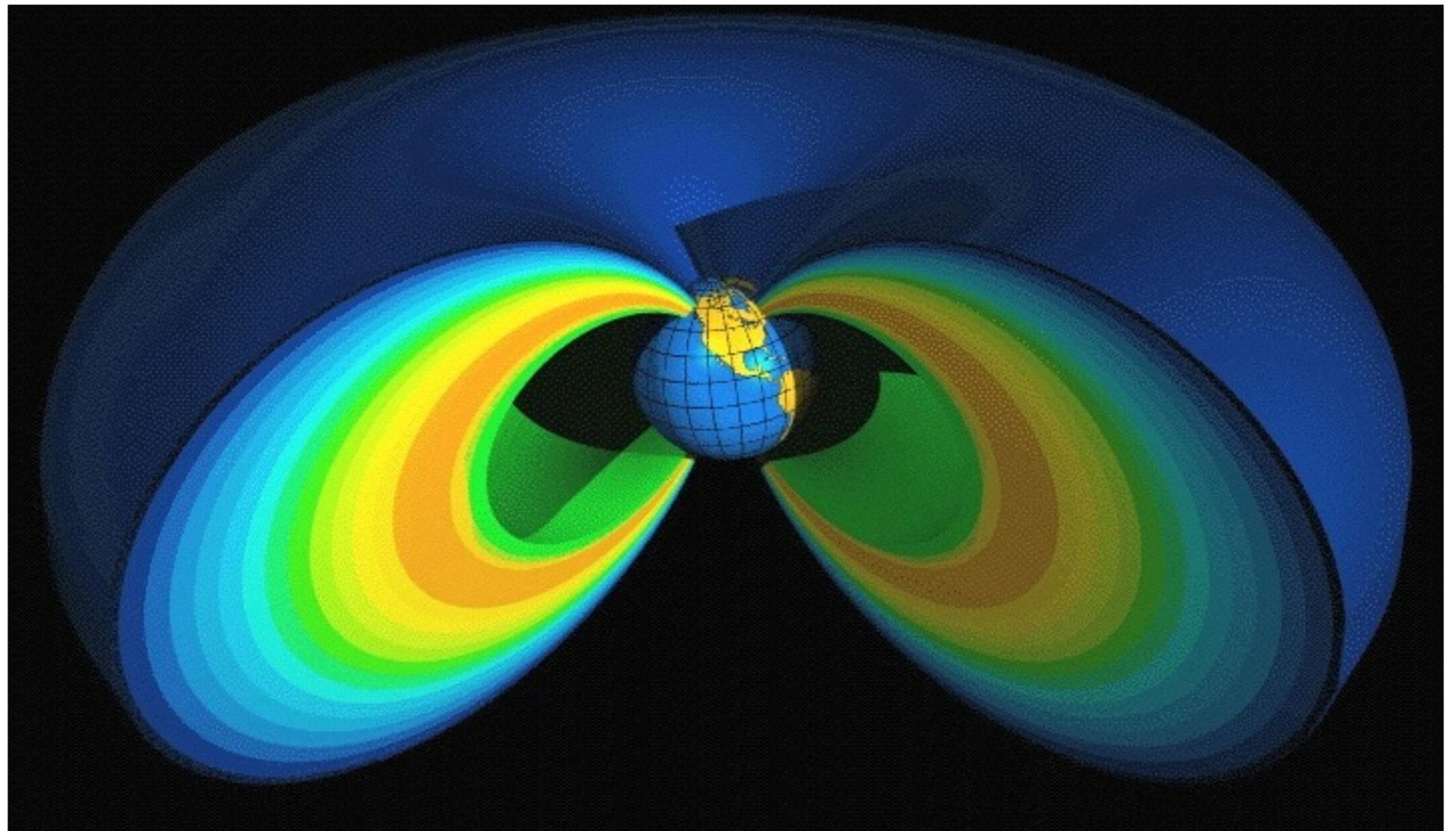


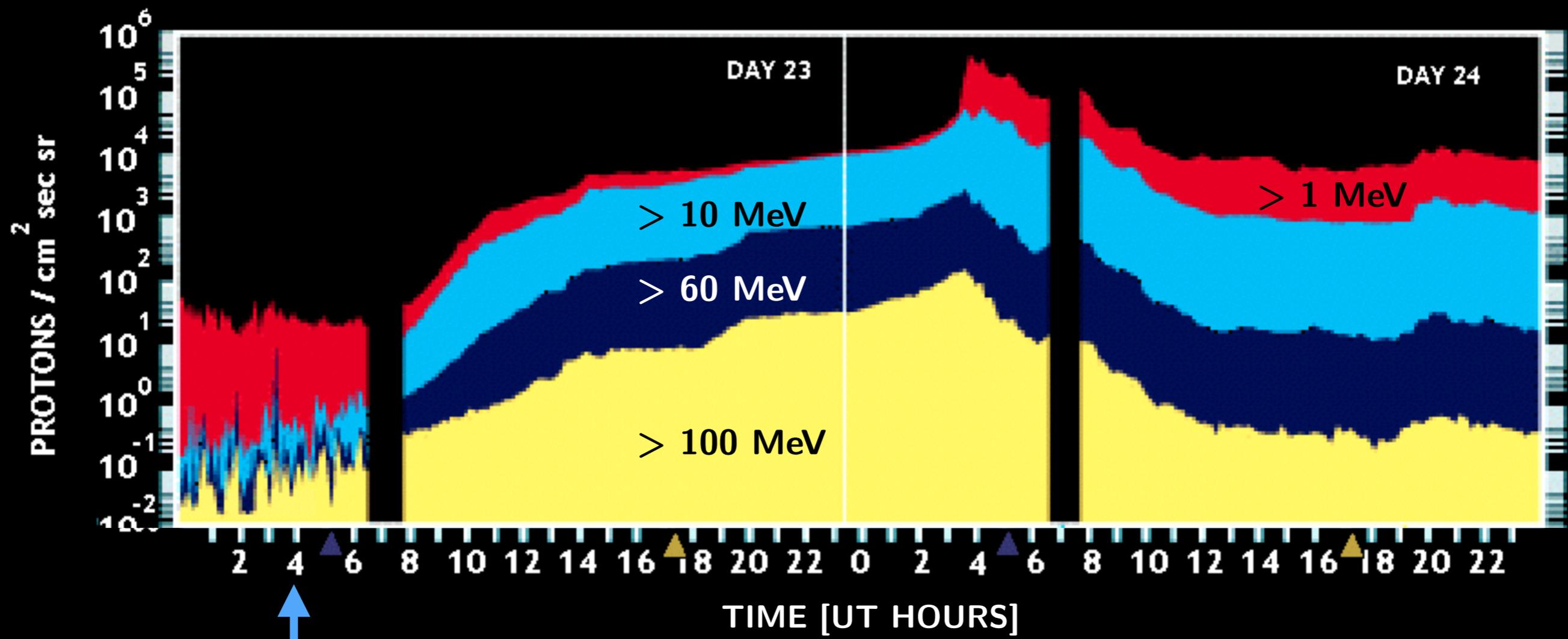
**particules énergétiques
(protons, électrons, ...)
 $\sim 10^{-4} \text{ W/m}^2$
transit : 1-2 h**



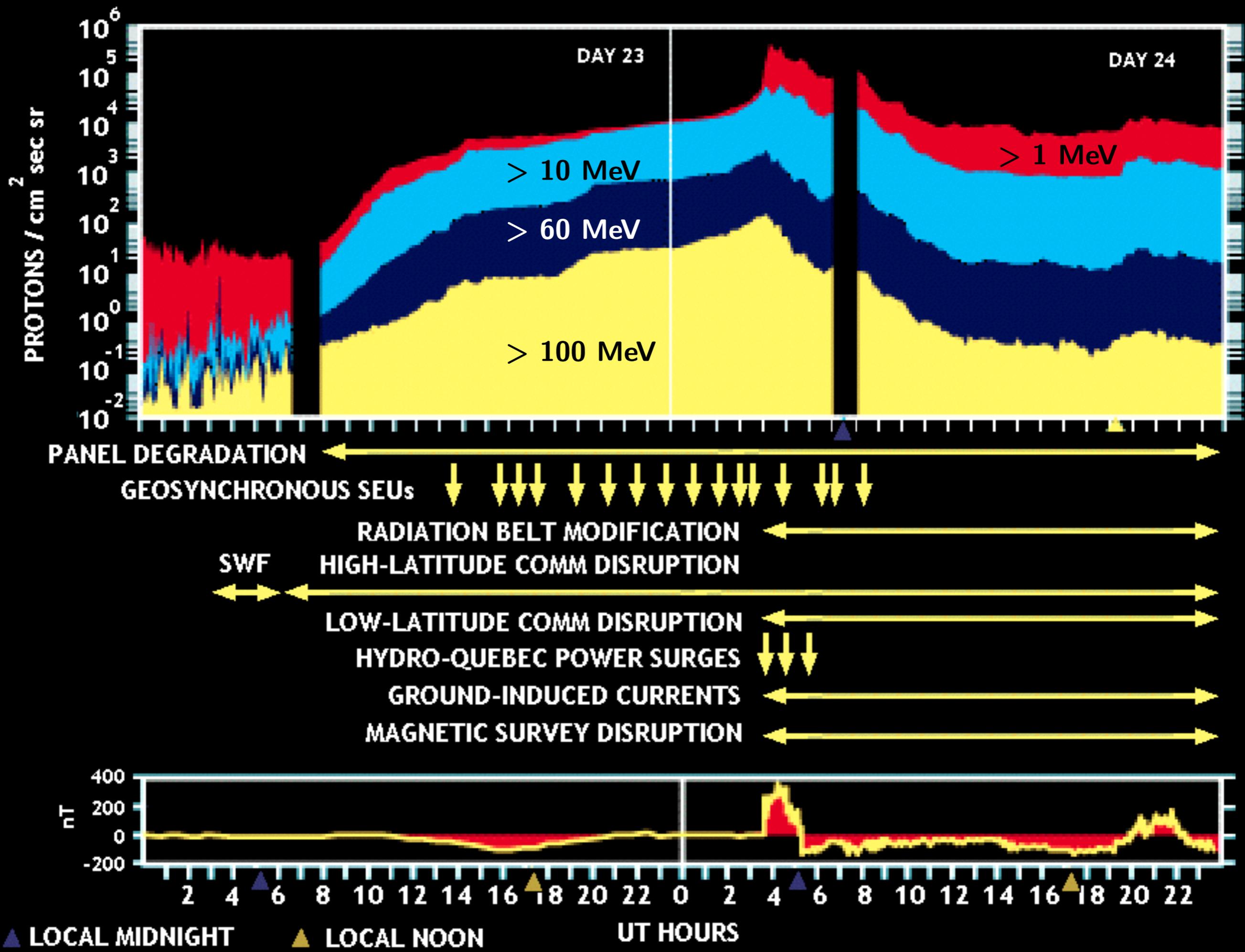
Ceintures de radiation

- Le ceintures de radiation : une région qui se peuple de protons/électrons énergétiques lors d'orages magnétiques





Flux de protons solaires pendant une tempête solaire [NOAA]

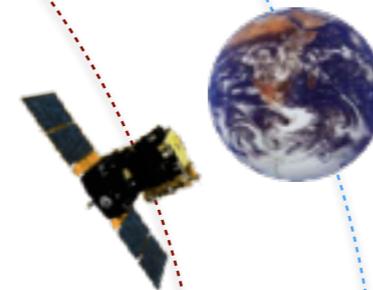
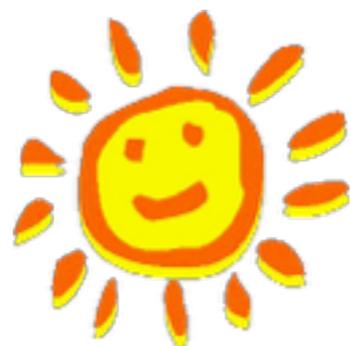


Quelle prévision ?



Quelle prévision ?

- Notre capacité de prévision dépend beaucoup du phénomène considéré
 - Eruptions : impossible
 - Perturbations du vent solaire : fiables avec un préavis de 1h
 - Particules énergétiques : fiables avec un préavis de 1h



Quelle prévision ?

- Gros enjeu économique : fournir des prévisions
 - fiables
 - à plus long terme ($> 24h$)
 - à caractère opérationnel (7j/7, 24h/24)

- analogie avec la météorologie terrestre des années 1970 :
passer de la science aux opérations

Quelle prévision ?

- Nos principaux fournisseurs de données sont
 - des satellites scientifiques



Solar Dynamics Observatory (NASA)

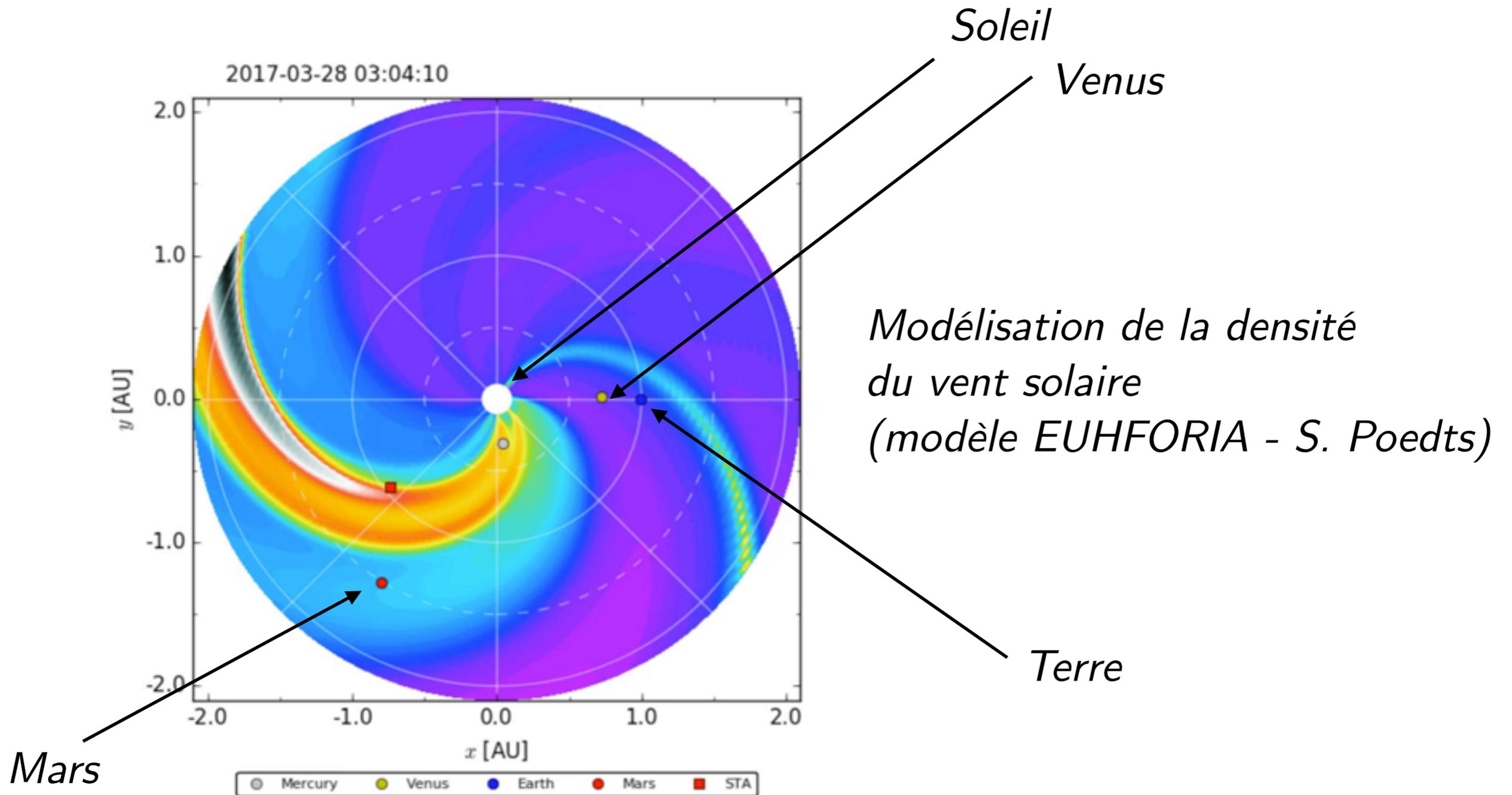
- des instruments au sol: magnétomètres, antennes radio, etc.



*Penticton Solar Radio Observatory
(Canada)*

Quelle prévision ?

- Les modèles sont indispensables pour combler notre manque d'observations



Un lien avec le climat ?



The sun is the main driver of climate change.

Not you.
Not CO2.

Earth to scale.



PATTISON



Un problème complexe

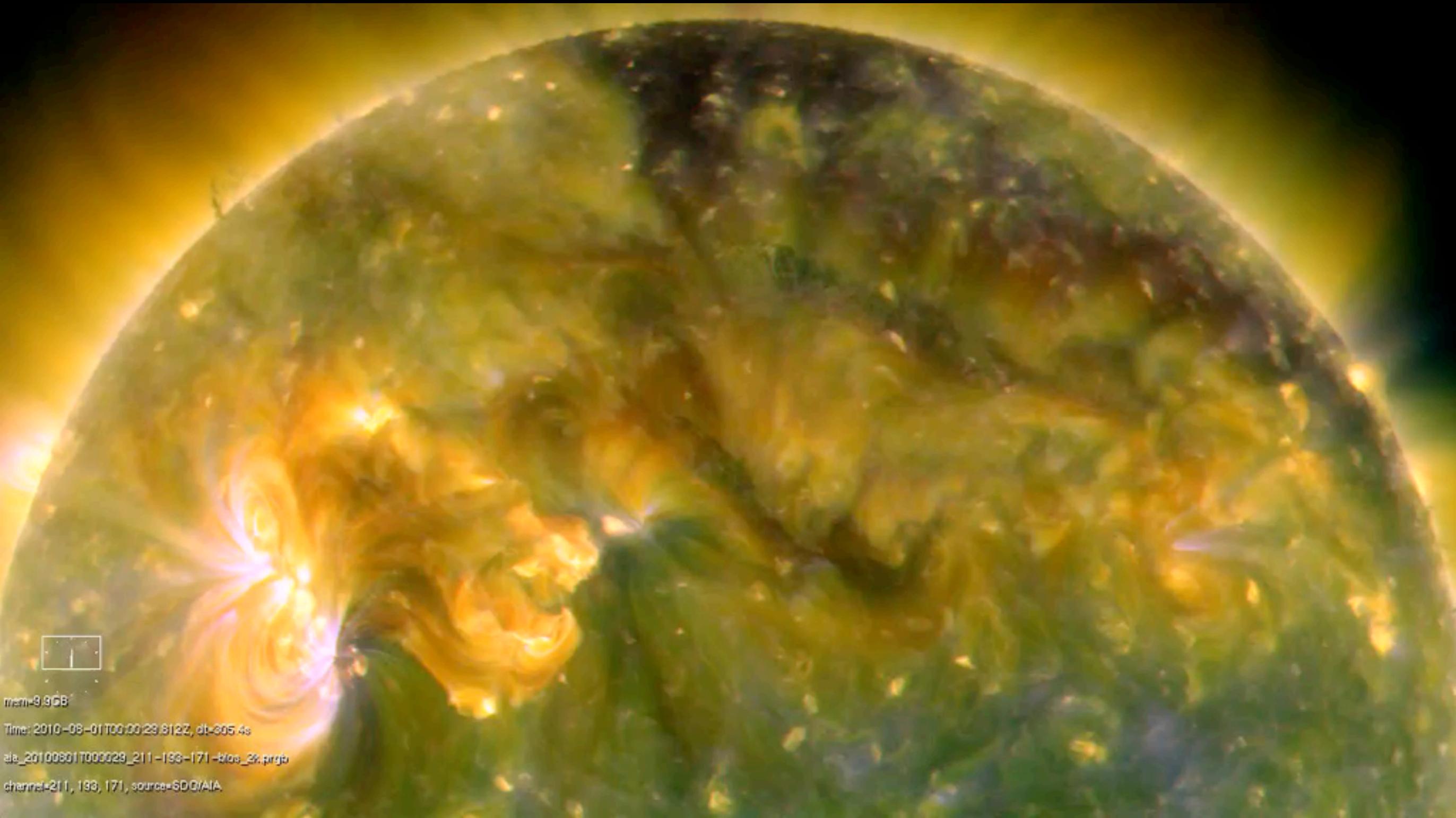
- A long-terme (> 500 ans) la variabilité solaire a un impact majeur sur le climat
 - cycles de Milanković \rightarrow glaciations
- A court-terme (< 100 ans) le signal solaire est noyé dans la variabilité naturelle
 - GIEC (2015) : la contribution solaire ne contribue que pour 5-10% au réchauffement climatique depuis 1950
 - mais il reste de nombreuses inconnues

Indispensable : transparence et traçabilité afin que tout résultat puisse être testé avec un esprit critique

Pour conclure



Pour conclure



mem-8.9GB

Time: 2010-08-01T00:00:29.812Z, dt-305.4s

da_20100801T000029_211-193-171-3/oa_2k.prgb

channel-211, 193, 171, source=SDQ/AIA