

**CURIEUX DE LA RECHERCHE ?**

**Rencontre du personnel**

**Collège de Bois-de-Boulogne, 1<sup>er</sup> février 2013**

# **Le cycle d'activité du Soleil**

## **Quocé ça ?**

**Alexandre Lemerle**

**Enseignant en physique, Collège de Bois-de-Boulogne**

**Étudiant au doctorat en physique, Université de Montréal**





# Où est le Soleil ?





# Qu'est-ce que le Soleil ?



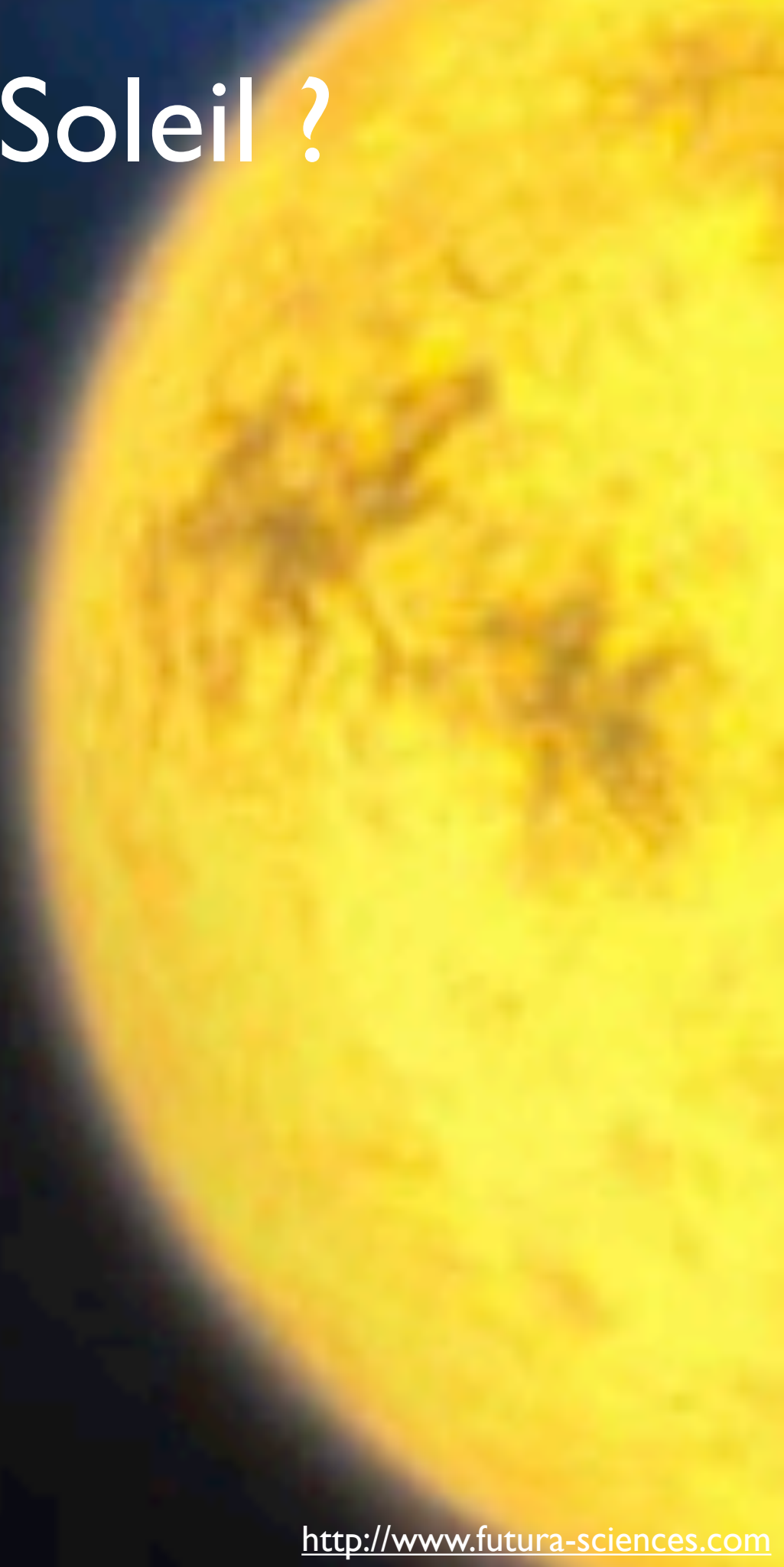
Naine rouge

Naine jaune  
semblable au Soleil

Naine bleue

R136a1

# Qu'est-ce que le Soleil ?





# I. Observons le Soleil



# Le Soleil observé aujourd'hui

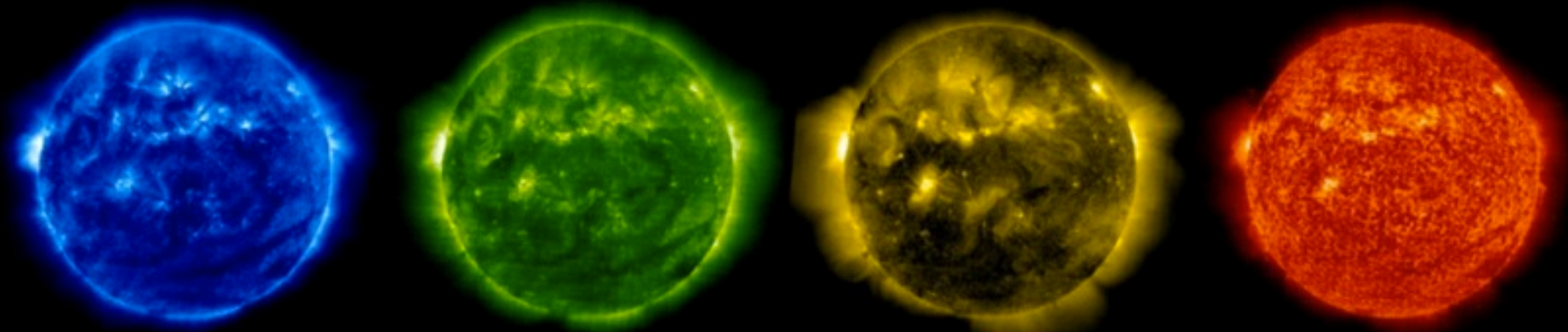
sohowww.nascom.nasa.gov/data/realtime/realtime-update-1280.html — The very latest SOHO images

SOHO SOLAR AND HELIOSPHERIC OBSERVATORY

home about gallery data/archive operations publications newsroom classroom community

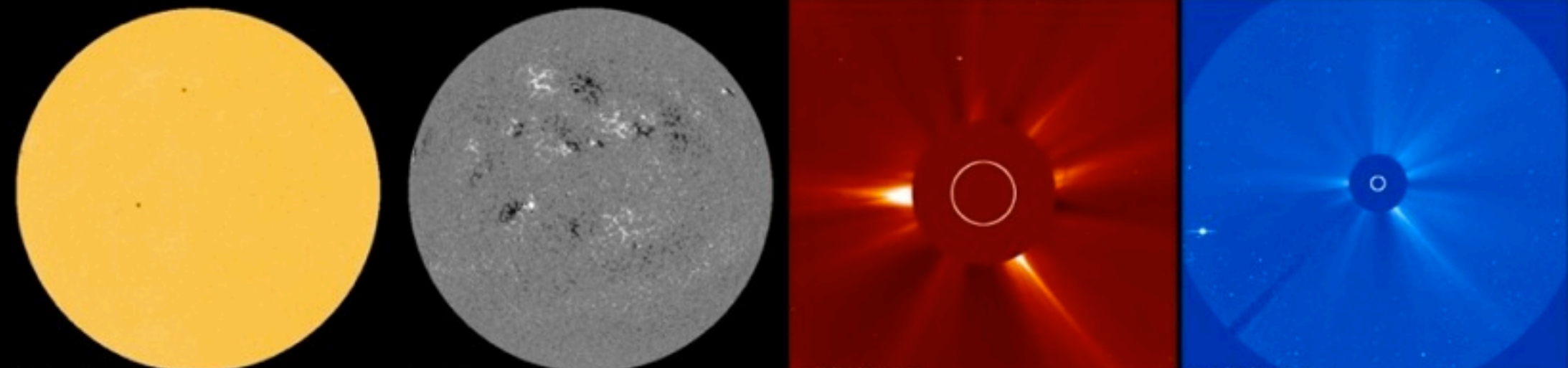
[Search and Download Images](#)  
[About these Images](#)

EIT 171 EIT 195 EIT 284 EIT 304



2013/01/28 13:00 2013/01/28 13:13 2013/01/28 13:06 2013/01/28 13:19

SDO/HMI Continuum SDO/HMI Magnetogram LASCO C2 LASCO C3

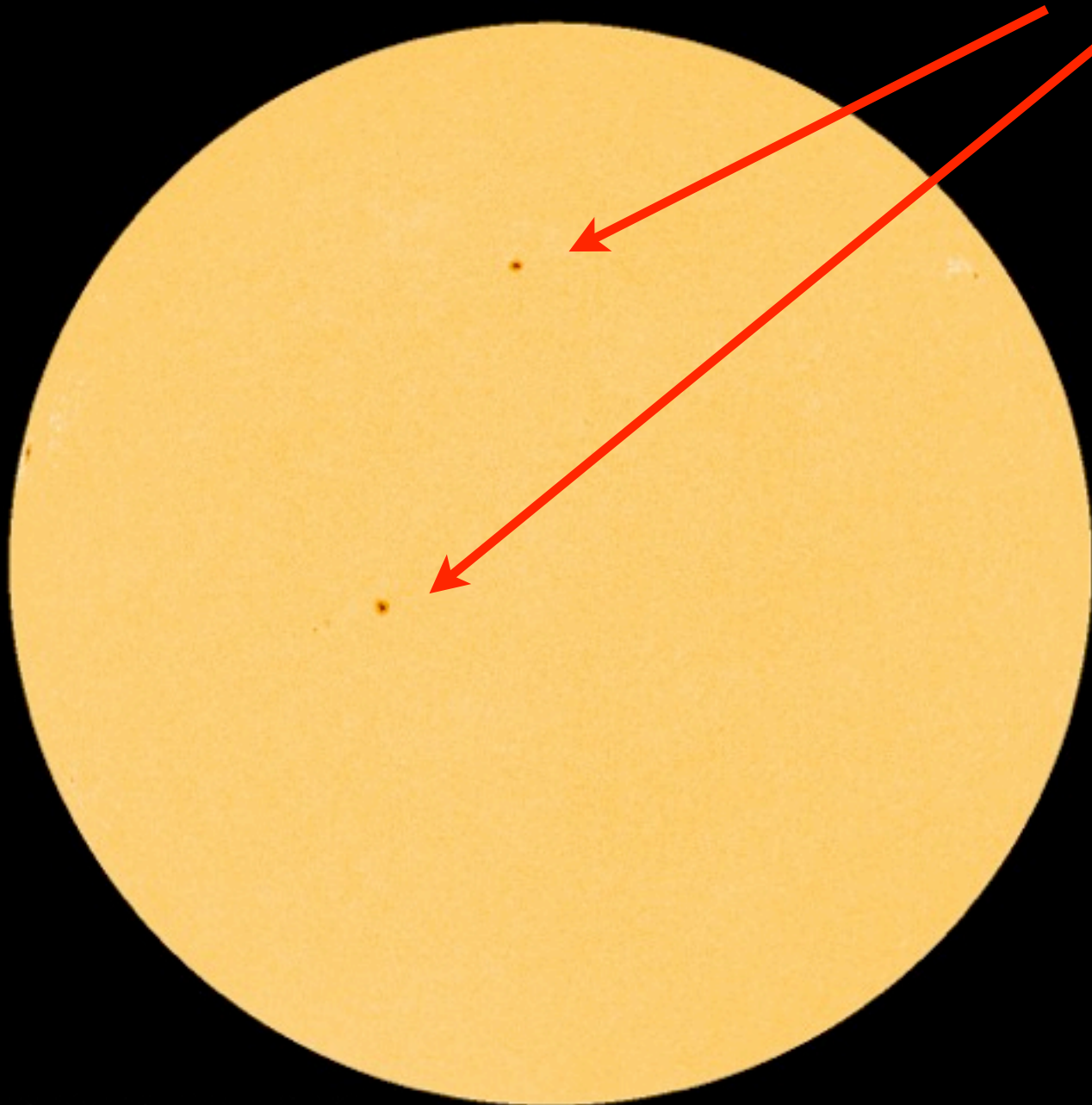


2013/01/28 17:36 2013/01/28 17:30

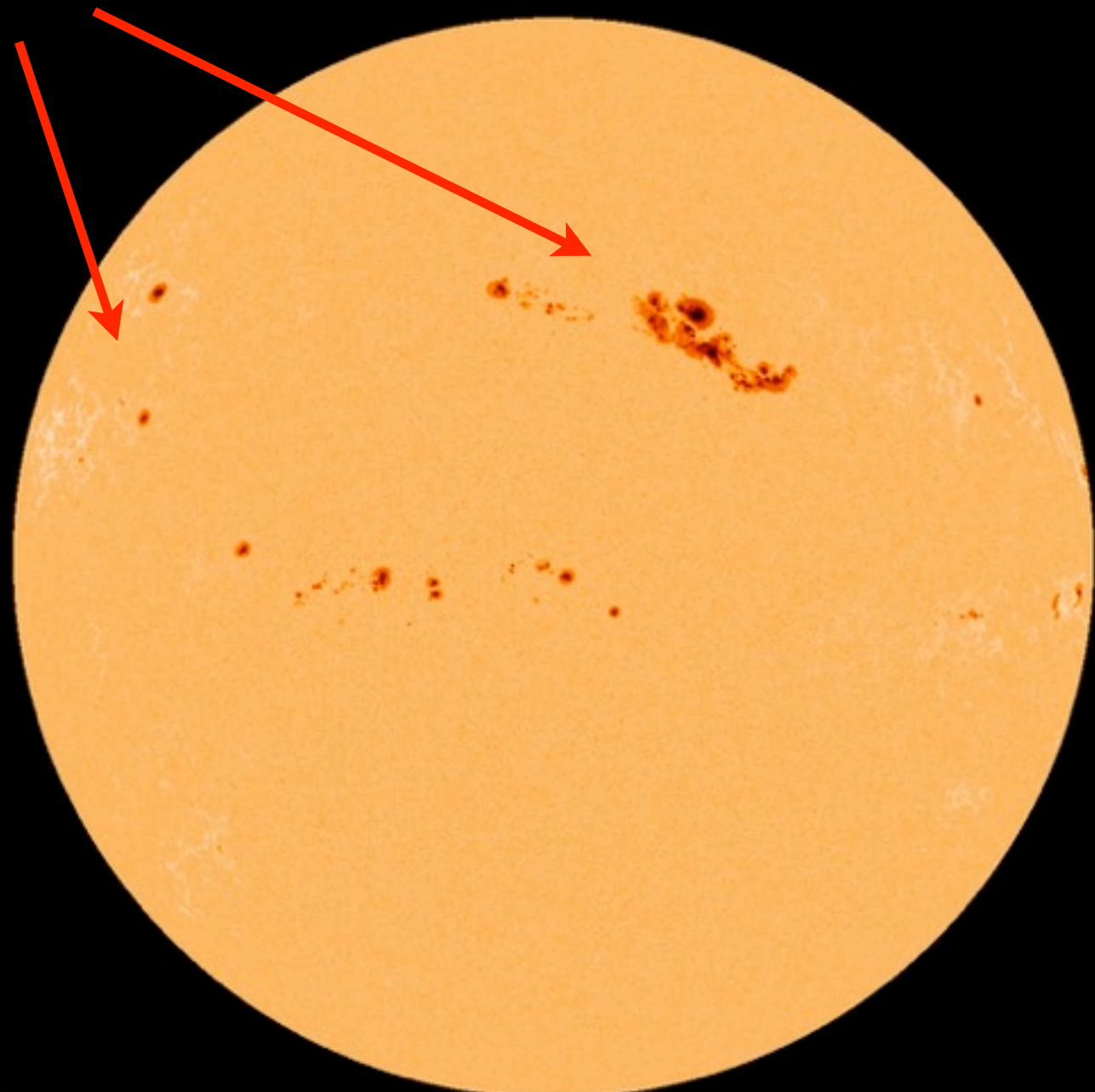


# Le Soleil observé aujourd'hui

## Taches solaires



SDO/HMI Quick-Look Continuum: 20130128\_163000



2001/03/30 00:00

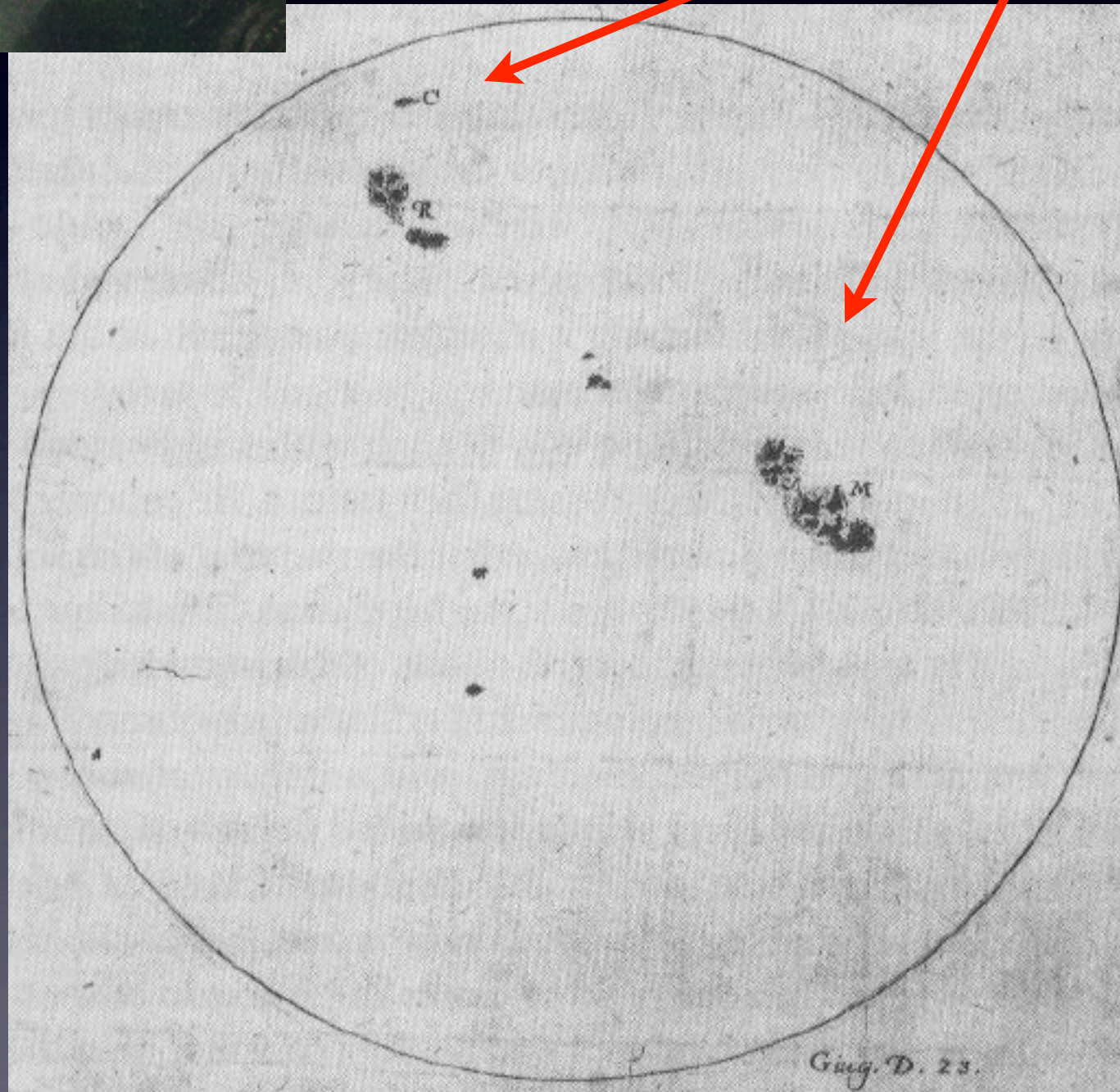


# Le Soleil observé depuis 4 siècles

Galileo Galilei (1564-1642)



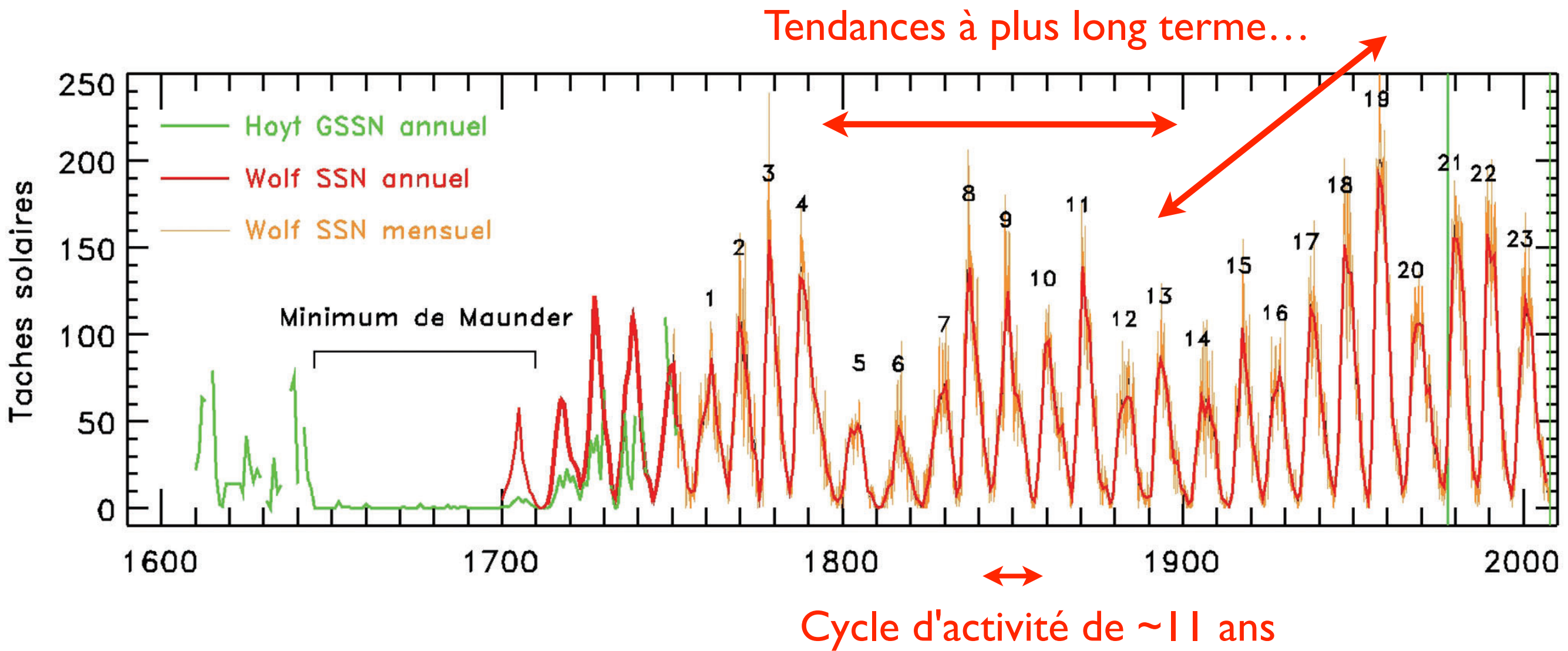
## Taches solaires



Johann H. Schroeter (1745-1816)



# Un Soleil variable : Le cycle des taches solaires

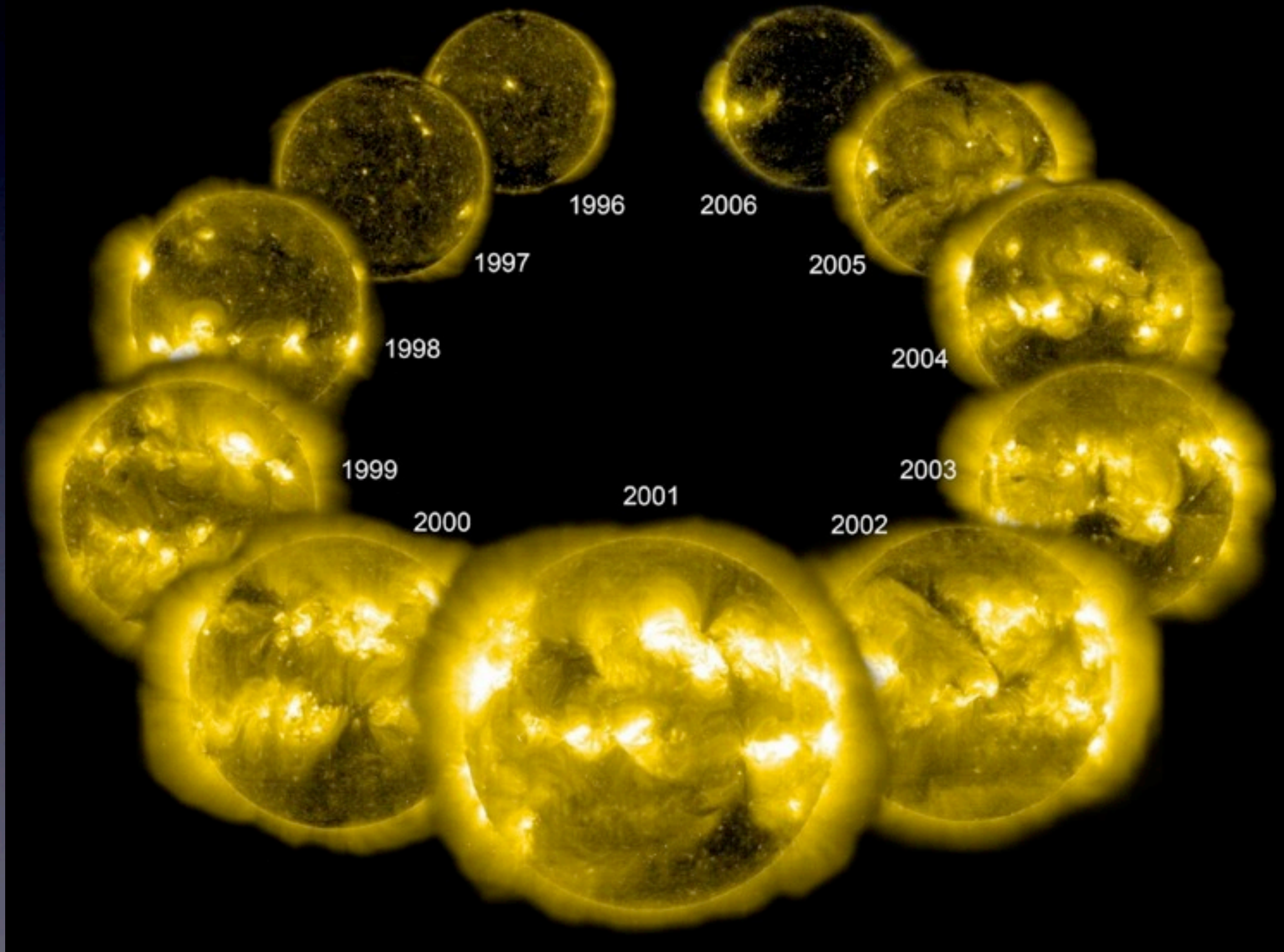


S. Heinrich Schwabe (1789-1875)

Rudolf Wolf (1816-1893)

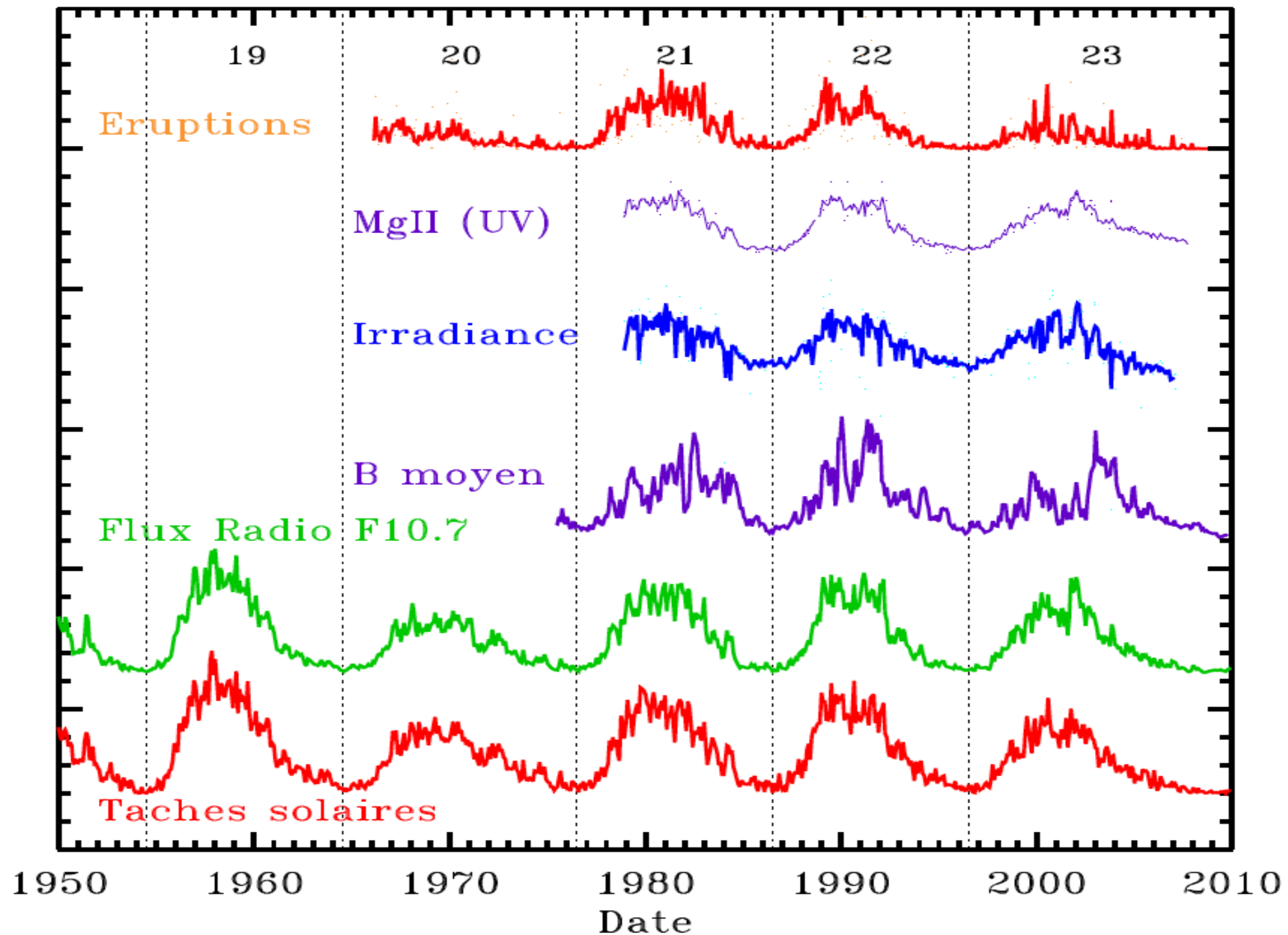


# Plus qu'un cycle de taches : un cycle "d'activité" solaire



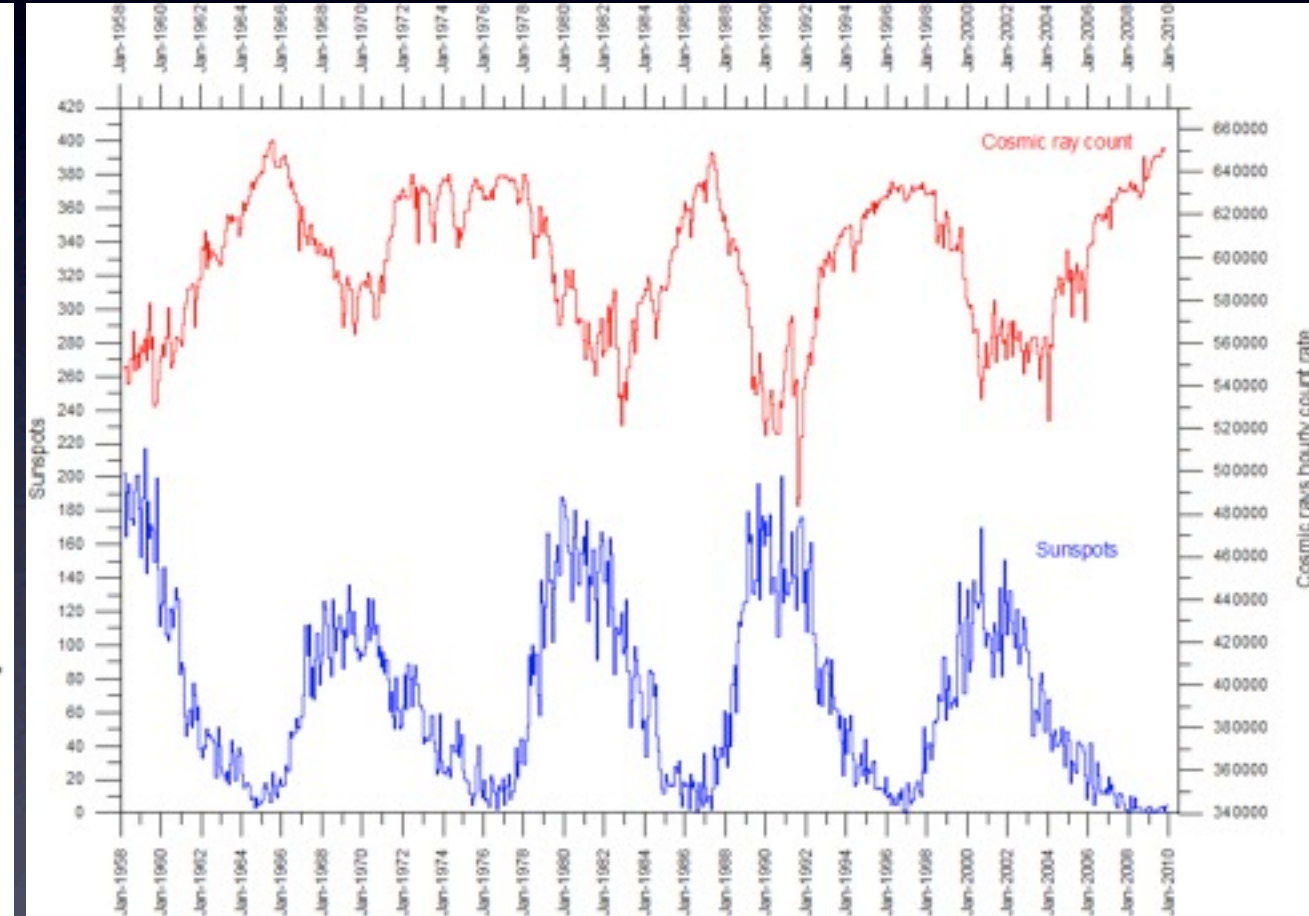
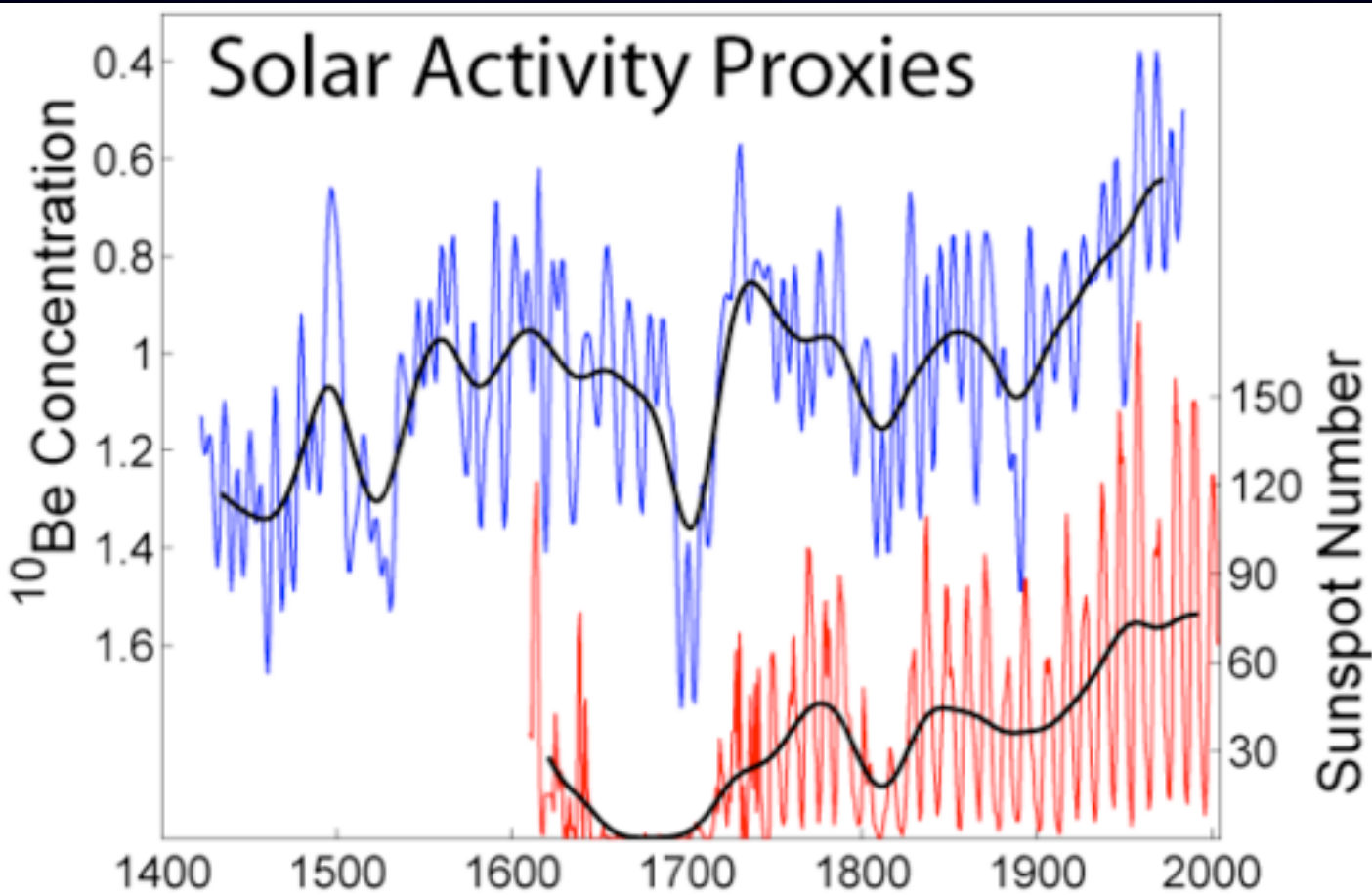


# Plus qu'un cycle de taches : un cycle "d'activité" solaire





# Plus qu'un cycle de taches : un cycle "d'activité" solaire





II. En quoi cela est-il  
intéressant ?

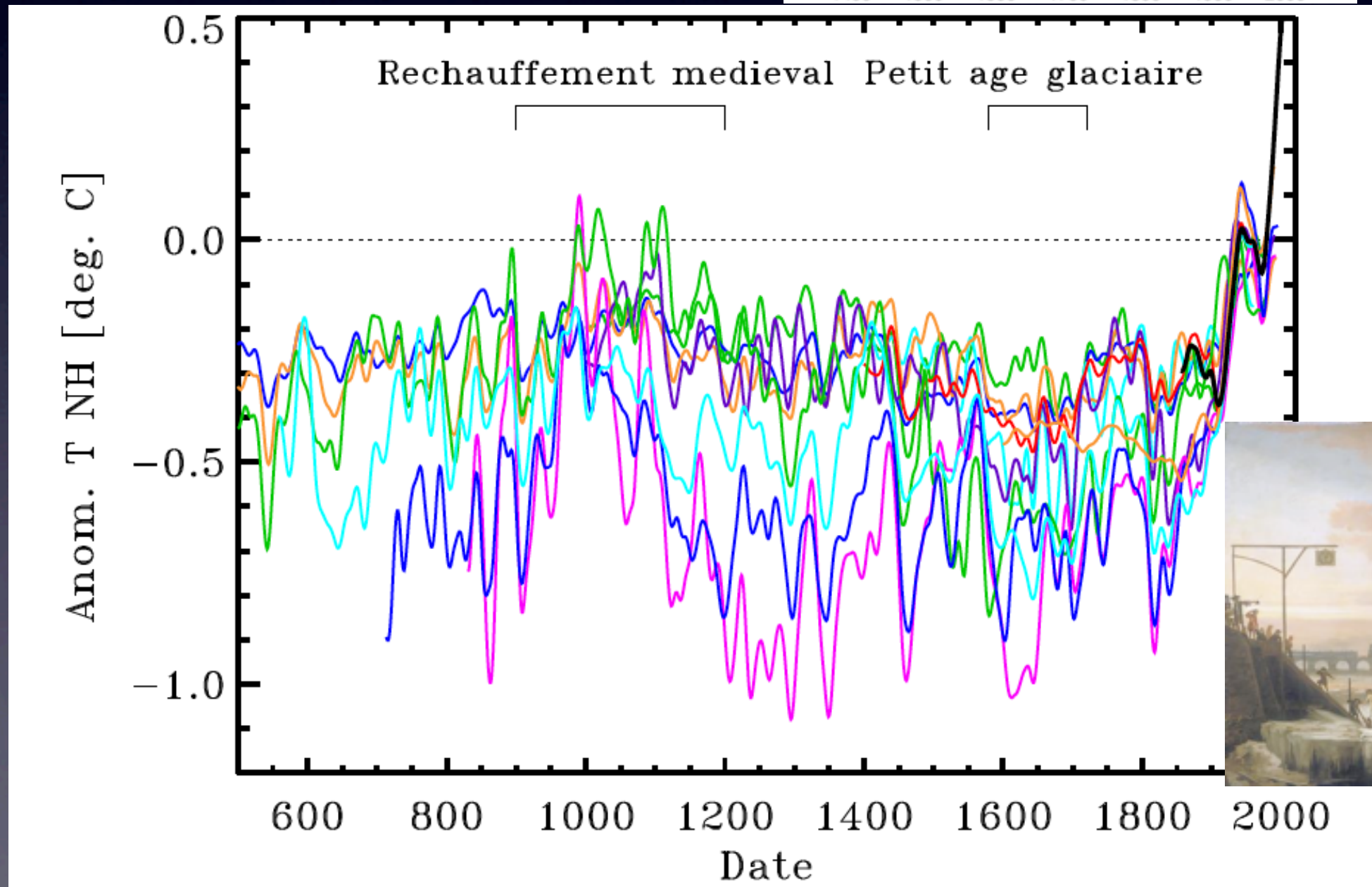
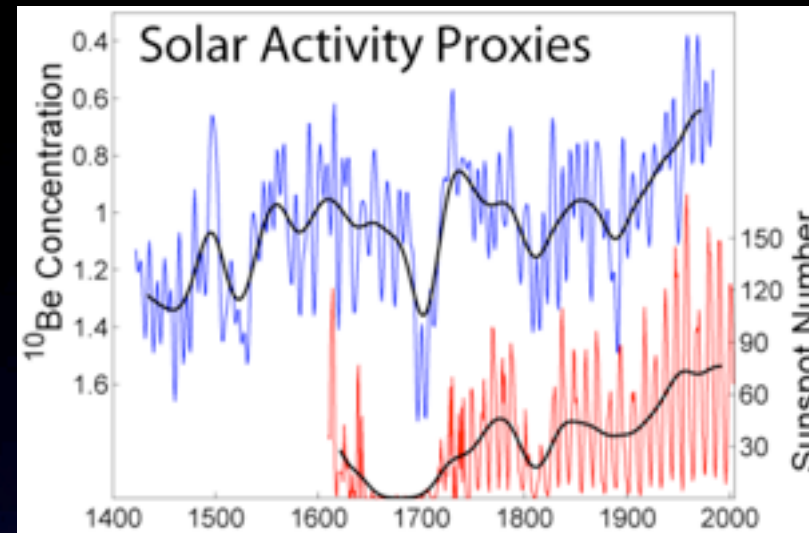


# En quoi cela est-il intéressant ?

- Vous l'aurez déjà compris :
  - parce que c'est facile d'épater la galerie avec de belles images du Soleil ;
  - parce que ça donne des idées passionnantes à des profs de cégep qui voudraient faire de la recherche ;
  - par simple curiosité, parce que c'est passionnant de comprendre le fonctionnement de notre seule (ou presque...) source d'énergie !
- mais aussi
  - pour des raisons bien plus terre à terre, qui influencent notre quotidien et notre avenir...



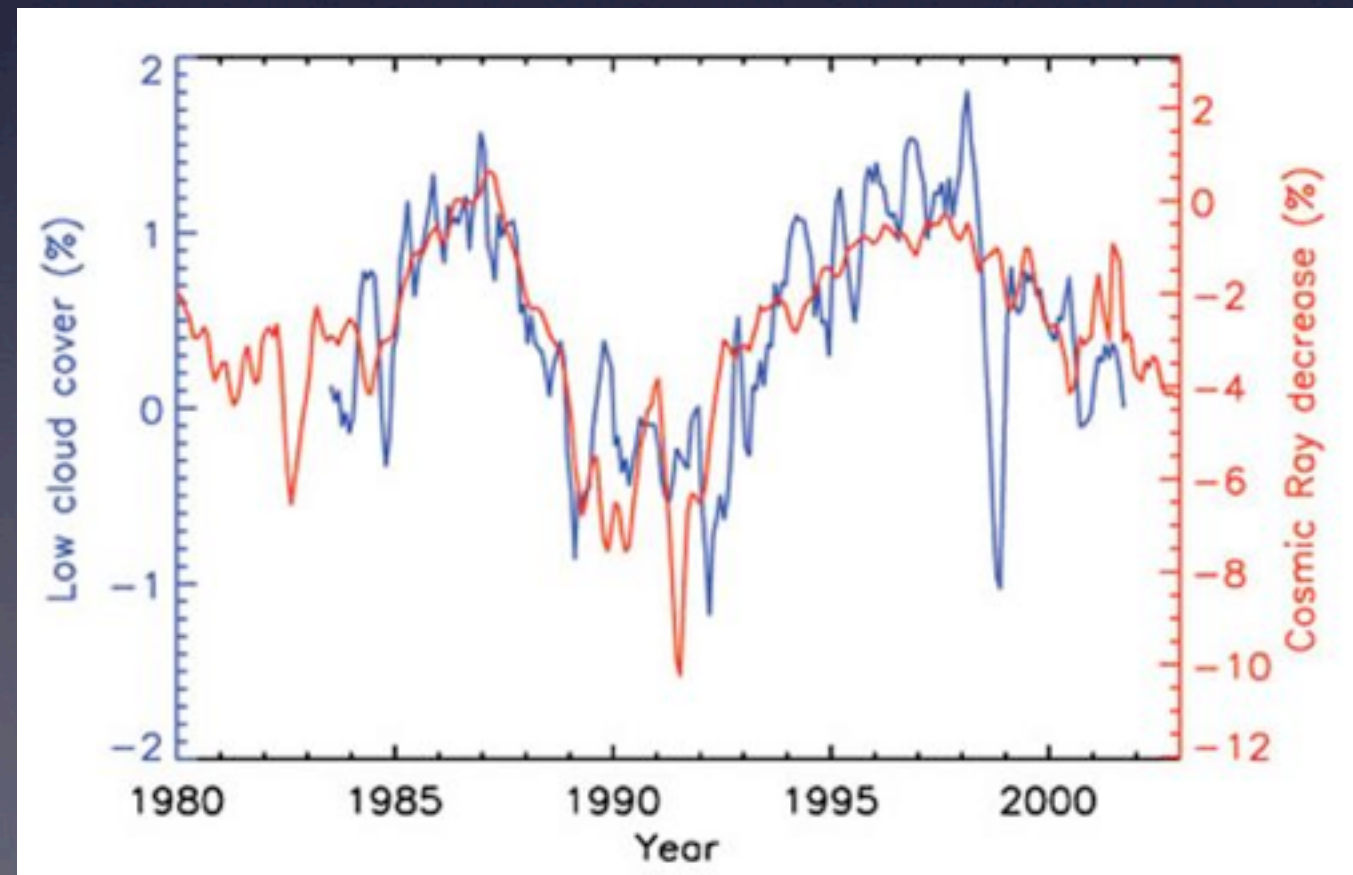
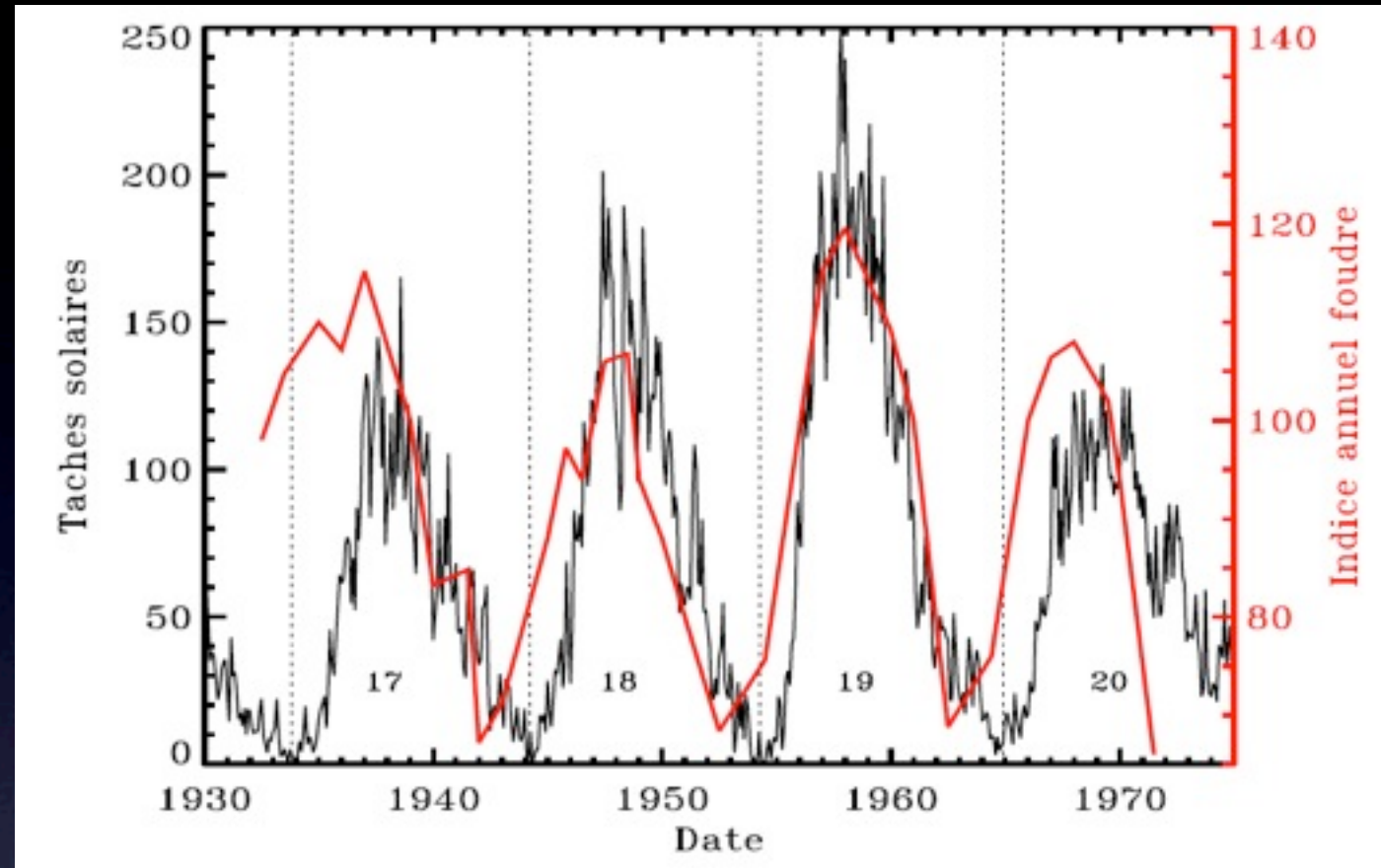
... comme l'évolution du climat,



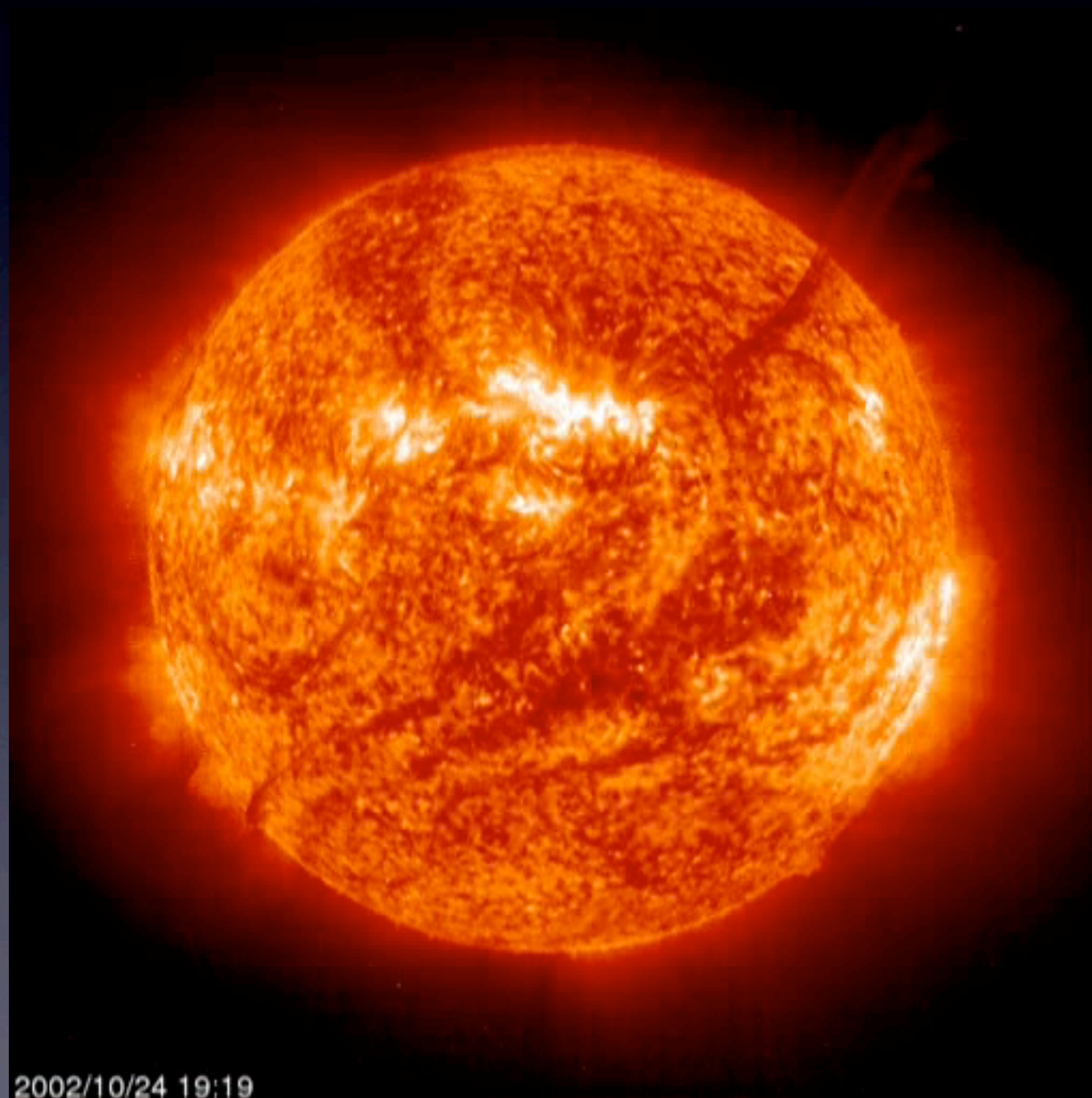
Museum of London,  
artiste inconnu.



... les perturbations de l'atmosphère,



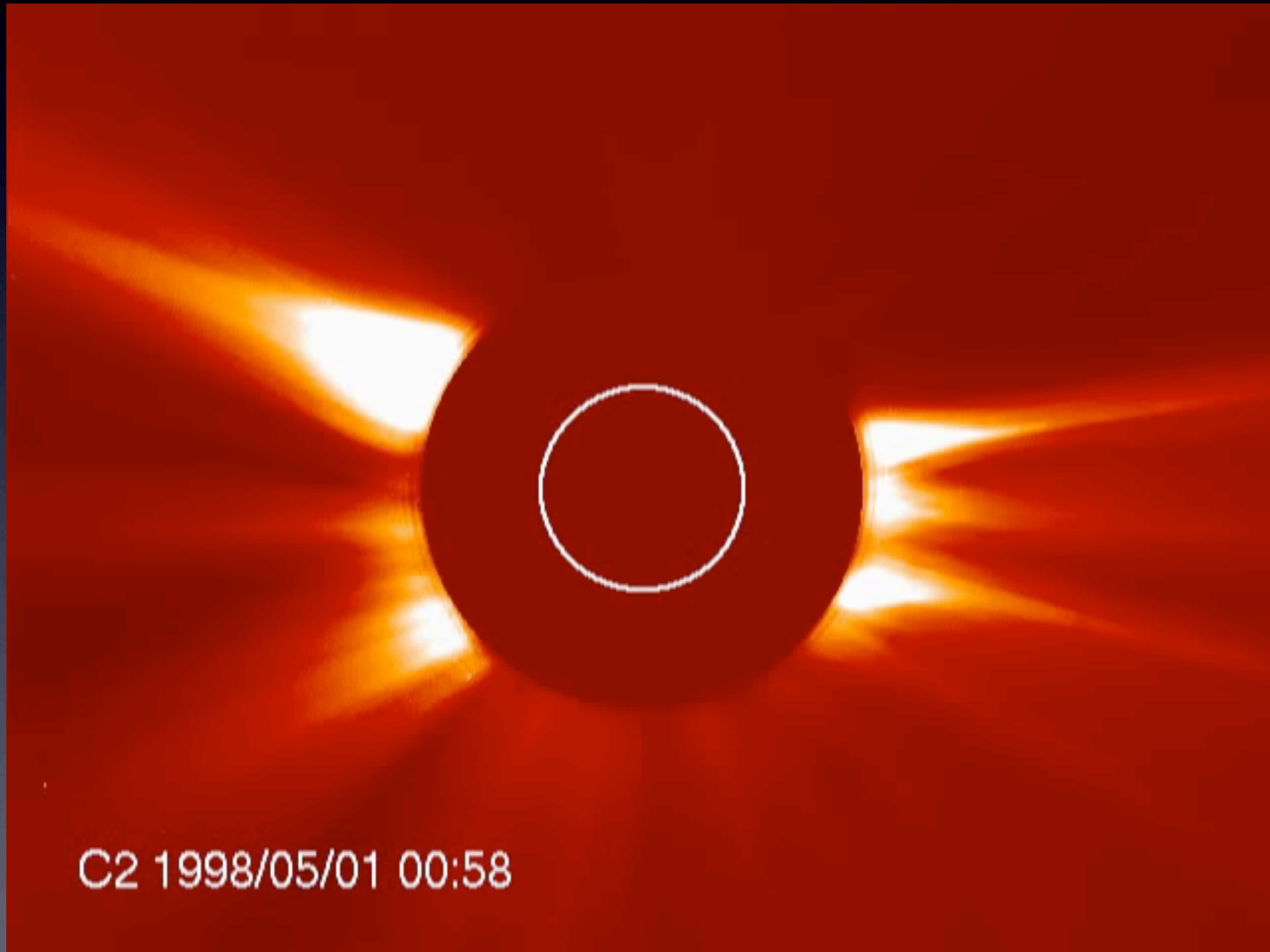
# ... l'impact des orages magnétiques



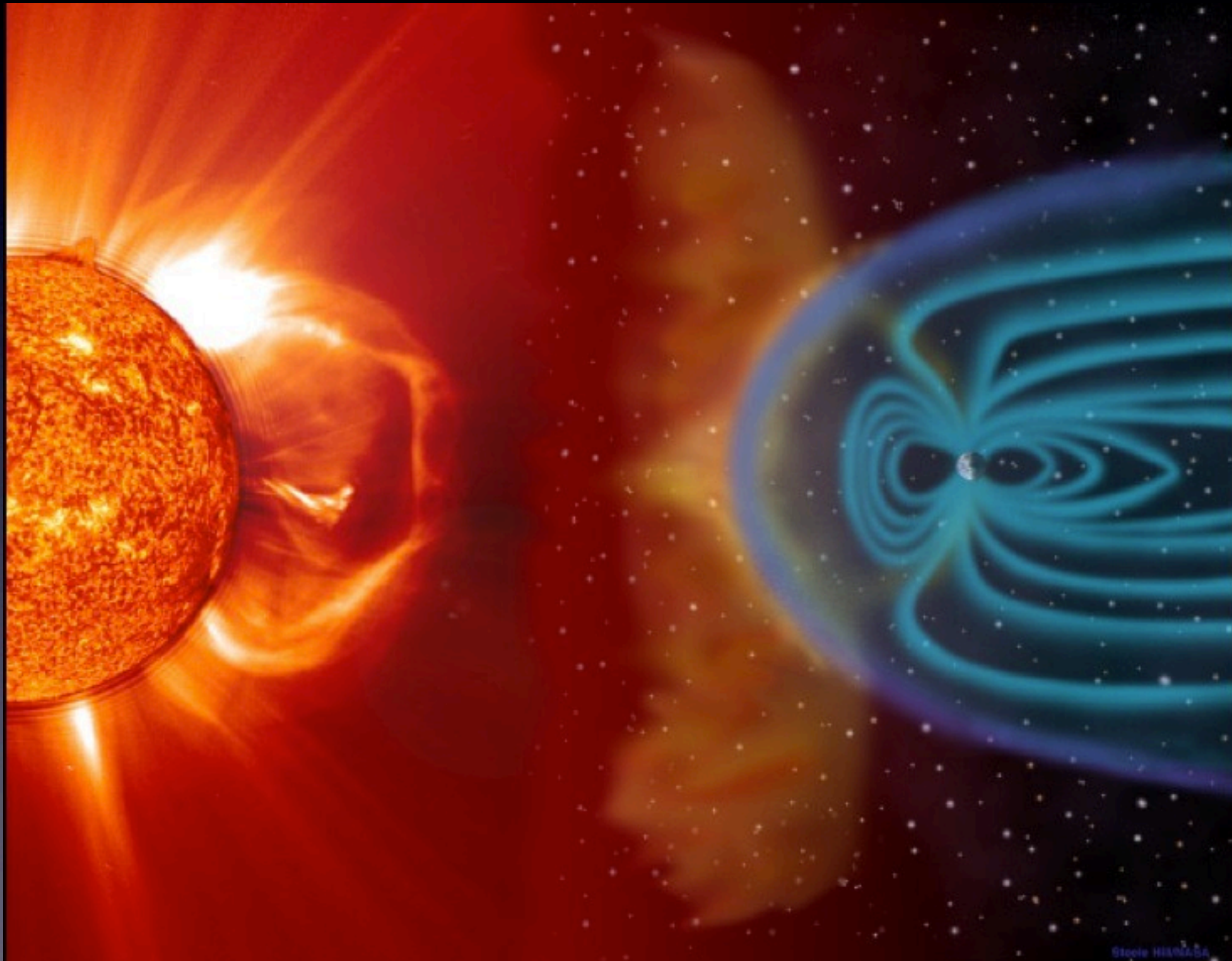
2002/10/24 19:19



# ... l'impact des orages magnétiques

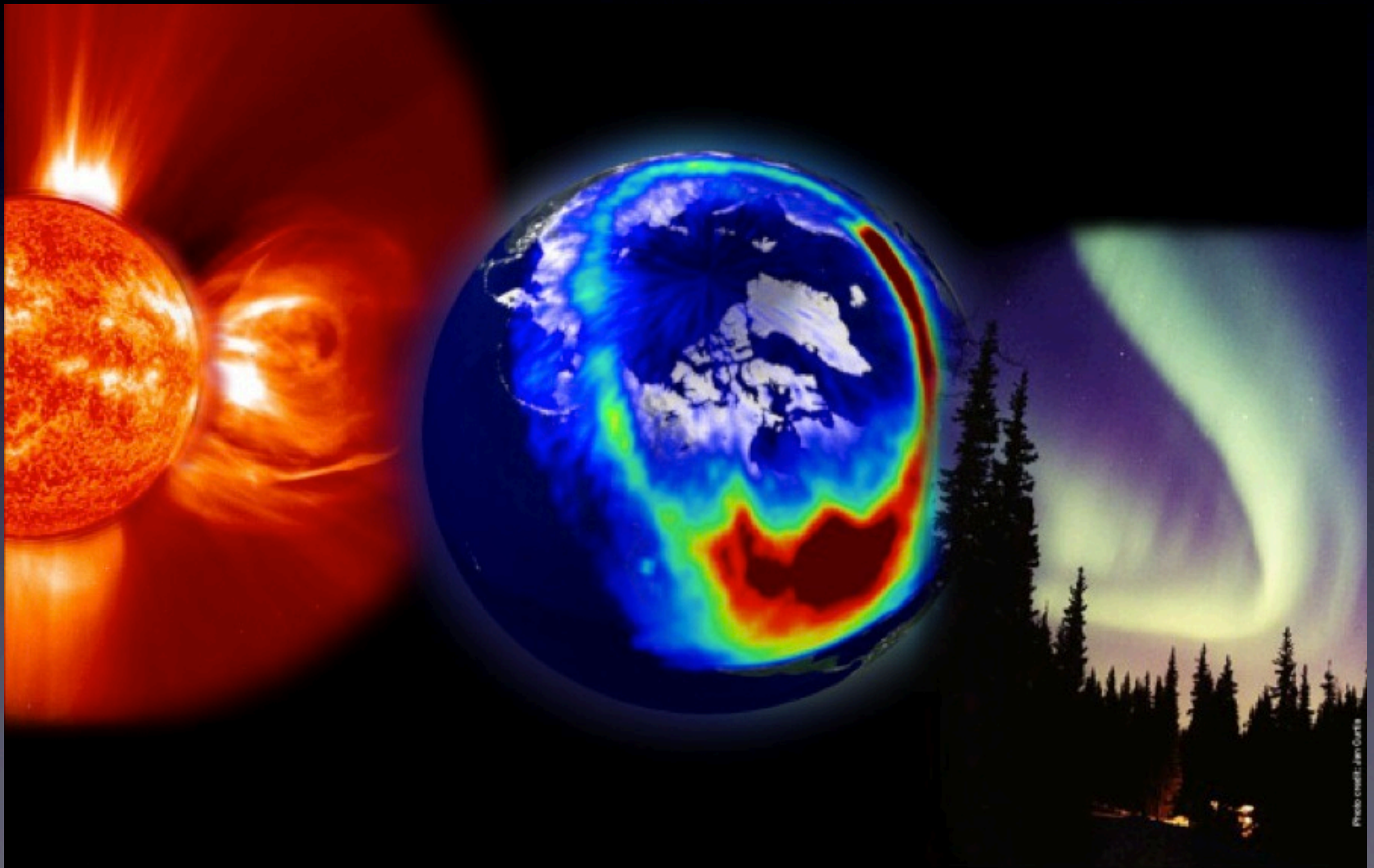


# ... l'impact des orages magnétiques





# ... l'impact des orages magnétiques



# ... l'impact des orages magnétiques

- Perturbation des communications radio à haute latitude
- Irradiation du personnel et des passagers sur les vols aériens transpolaires
- Inductions de courants secondaires dans pipelines et câbles sous-marins
- Surcharge des lignes à haute tension...

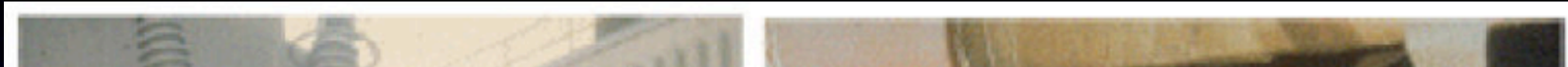


# ... l'impact des orages magnétiques





# ... l'impact des orages magnétiques



## Le Québec a subi en mars 1989 une panne générale d'électricité par suite d'une tempête solaire

Le 10 mars, un fort vent quittait le Soleil à destination de la Terre. Le 12 mars, on a observé les premières variations de tension sur le réseau de transport d'Hydro-Québec. Le centre de conduite du réseau a fait les manœuvres nécessaires pour maintenir la stabilité, mais, à 2 h 44 le 13 mars, le champ magnétique terrestre a varié de façon brusque et importante. Les équipements de protection du réseau se sont alors déclenchés et la panne générale s'est produite en moins d'une minute ! Le Québec a été plongé dans le noir pendant plus de neuf heures.

### Hydro-Québec a renforcé son réseau

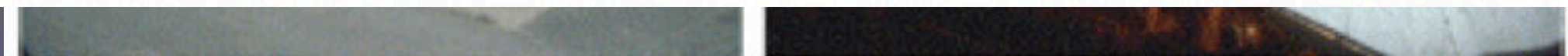
Peu de temps après cette panne, Hydro-Québec a mis sur pied un groupe de travail pour analyser les événements et proposer des correctifs. Depuis, les mesures suivantes ont été appliquées :

- Recalibrage des équipements de protection et augmentation du seuil de déclenchement. Cette tactique a été efficace puisque des orages magnétiques très intenses qui se sont produits après ceux de 1989 n'ont causé aucun problème.
- Mise en place d'un système d'alerte en temps réel qui mesure les perturbations sur le réseau électrique pendant l'orage magnétique.
- Modification des procédures d'exploitation du réseau. En cas de perturbations, Hydro-Québec réduit le transit sur les lignes de transport et les interconnexions à courant continu, et arrête toutes les manœuvres importantes.
- Installation d'équipement de compensation série sur les lignes de transport d'électricité pour accroître la stabilité du réseau. Cette mesure s'est avérée fort utile pour atténuer l'impact des orages magnétiques.

Le Québec n'est pas le seul à subir les effets des orages magnétiques. Toutes les entreprises de transport d'électricité situées à des latitudes élevées, comme celles de la Scandinavie, de l'Alaska et du nord de la Russie, sont vulnérables. Mais Hydro-Québec l'est davantage parce que le Québec repose sur un immense bouclier rocheux qui empêche le courant de circuler dans la terre. L'électricité cherche alors un chemin, et les lignes électriques lui offrent un trajet de moindre résistance. De plus, le réseau d'Hydro-Québec comporte de très longues lignes de transport, ce qui le rend encore plus vulnérable aux colères du Soleil.

### Réseau international

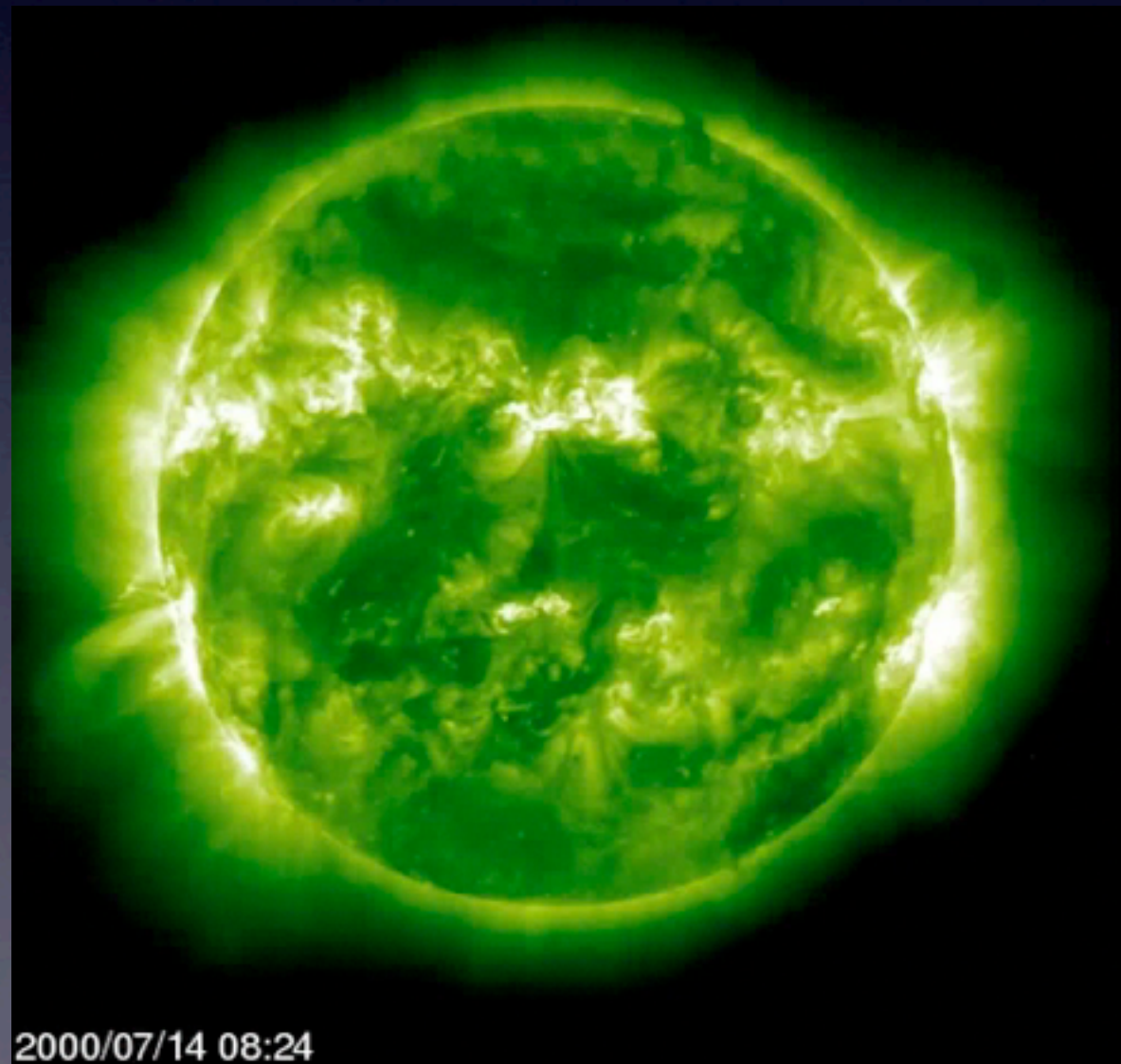
Par ailleurs, il existe maintenant un réseau international qui surveille l'activité du Soleil à l'aide de plusieurs satellites et observatoires. Les données sont ensuite utilisées par les centres régionaux pour prédire les perturbations. Un de ces centres, situé à Ottawa, émet chaque heure sur Internet un « bulletin météo ». Nous serons donc prévenus à l'avance, et... une entreprise avertie en vaut deux !





# ... ou la bonne santé de nos satellites.

- Éruption du jour de la Bastille
  - dégradation de SOHO et d'autres télescopes,
  - arrêt temporaire du réseau GPS...





# D'où la nécessité de perfectionner notre "météo spatiale"



spaceweather.com

News and information about the Sun-Earth environment

Subscribe to SpaceweatherNews

go!

AURORA ALERTS

SUBMIT YOUR PHOTOS!

3D SUN

CONTACT US

SUBSCRIBE

FLYBYS

SCIENCE@NASA

## Current Conditions

### Solar wind

speed: 303.6 km/sec

density: 1.4 protons/cm<sup>3</sup>

[explanation](#) | [more data](#)

Updated: Today at 0217 UT

### X-ray Solar Flares

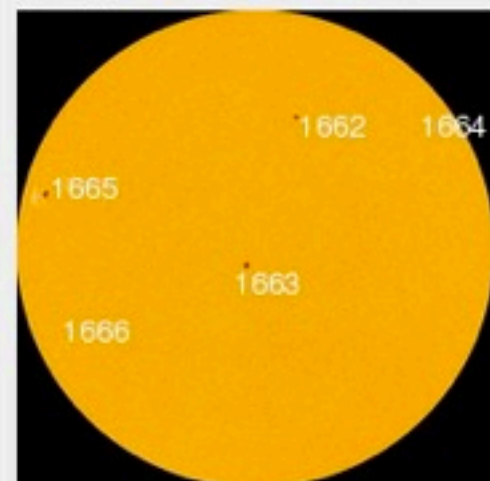
6-hr max: B1 2210 UT Jan30

24-hr: B2 1027 UT Jan30

[explanation](#) | [more data](#)

Updated: Today at: 2359 UT

### Daily Sun: 30 Jan 13



None of these sunspots is actively

## What's up in space

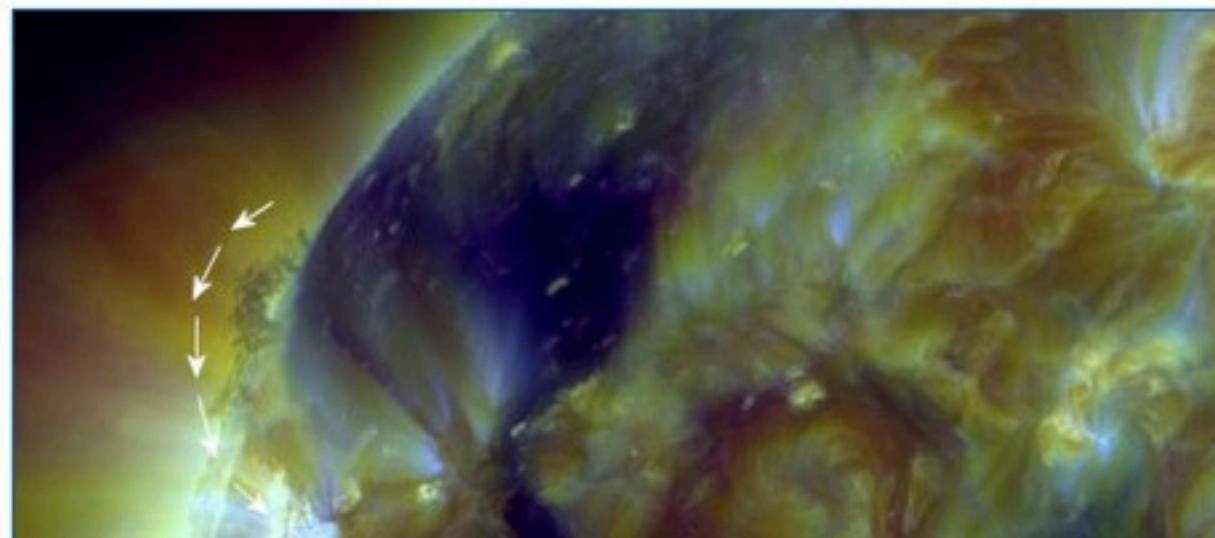
Thursday, Jan. 31, 2013

They came from outer space--and you can have one! Genuine meteorites are now on sale in the Space Weather Store.



**RECORD-SETTING ASTEROID FLYBY:** On Feb. 15th an asteroid about half the size of a football field will fly past Earth closer than many man-made satellites. Since regular sky surveys began in the 1990s, astronomers have never seen an object so big come so close to our planet. [\[full story\]](#) [\[video\]](#)

**MAGNETIC FILAMENT:** A bushy filament of magnetism is snaking over the sun's northeastern limb. NASA's Solar Dynamics Observatory took this extreme UV picture of the structure, which stretches more than 150,000 km from end to end, during the early hours of Jan. 30th:



### archives

January

31

2013

view



RECOMMENDED BY  
DR. TONY PHILLIPS



AdChoices

### Hydrogen Cell

www.globalenerg...  
Easy to Install,  
starting at \$249 Fits  
all vehicles, fast  
shipping!

### Power Service Provider

www.galpower.com  
Rent temperature  
control Emergency  
backup power

### 5-Day Solar PV Workshop

www.solarinstitut...  
Start an exciting  
new career or  
expand your  
business!

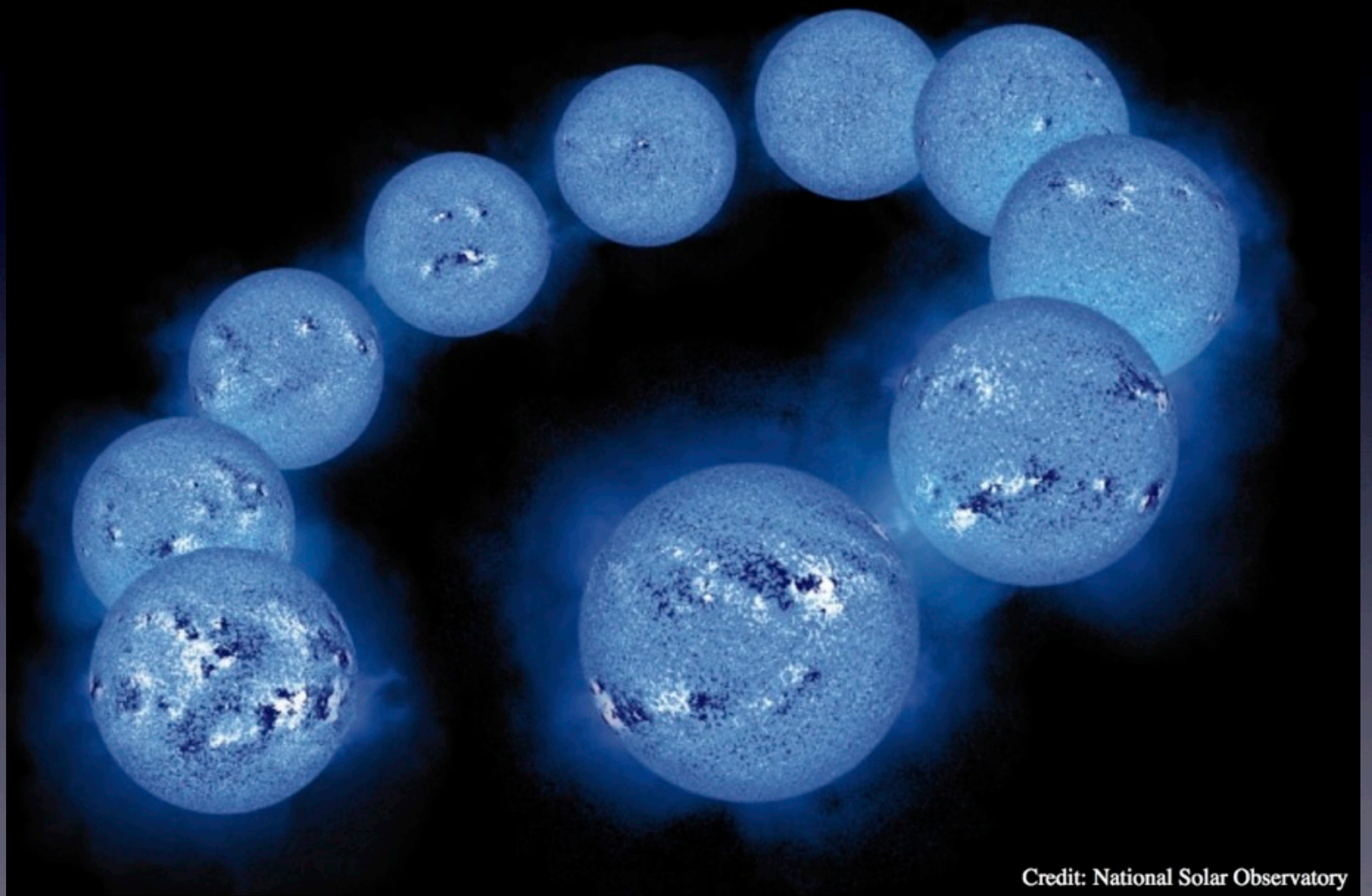
### "Shocking" 2013 Horoscope

PremiumAstrolog...  
Insert your name  
and birthdate, and  
receive by email a  
free reading!



III. Alors, c'est quoi ce cycle d'activité ?

# Un cycle magnétique



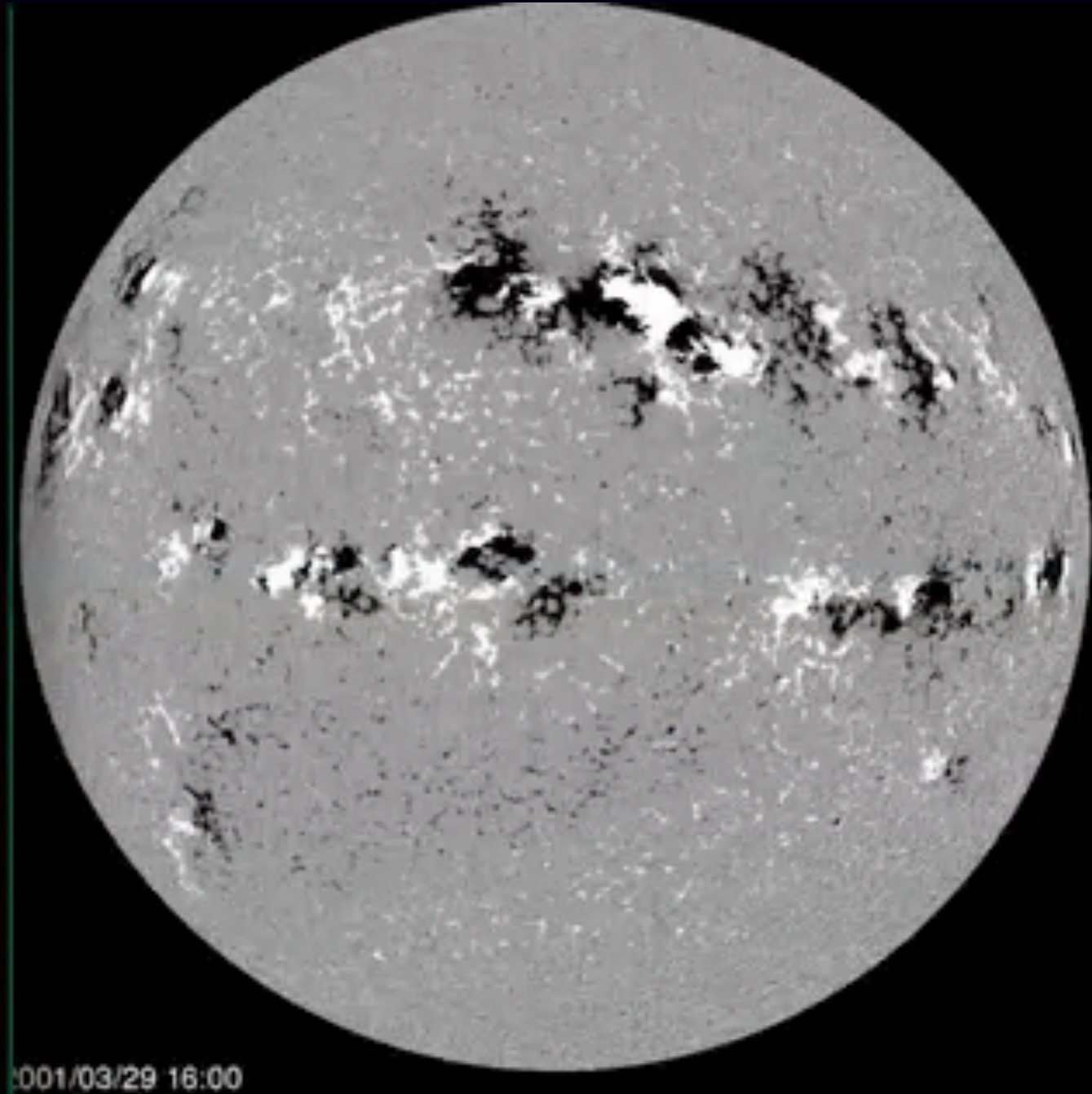


# Un cycle magnétique

taches solaires

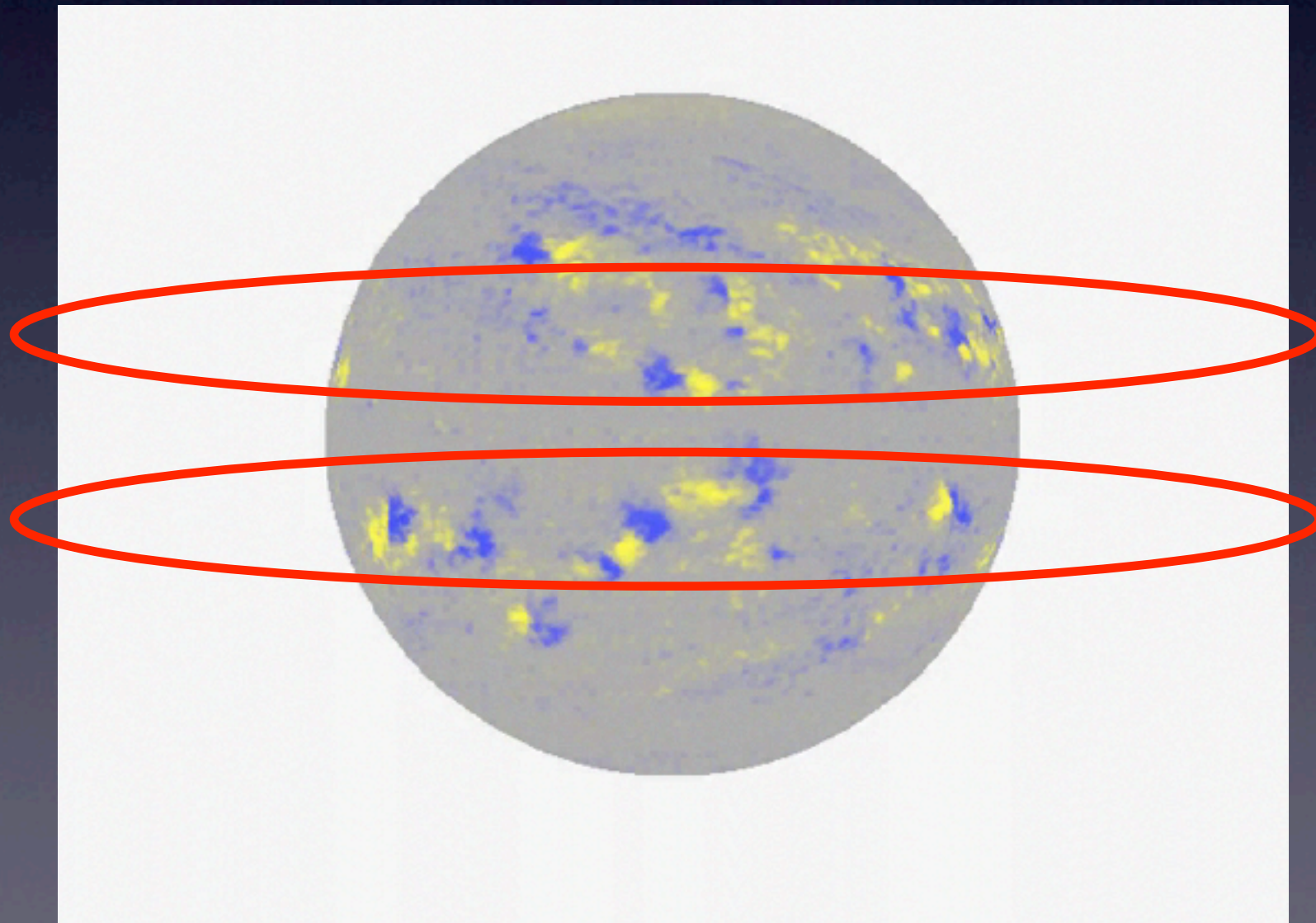
$\Leftrightarrow$

régions magnétiques bipolaires



# Un cycle magnétique

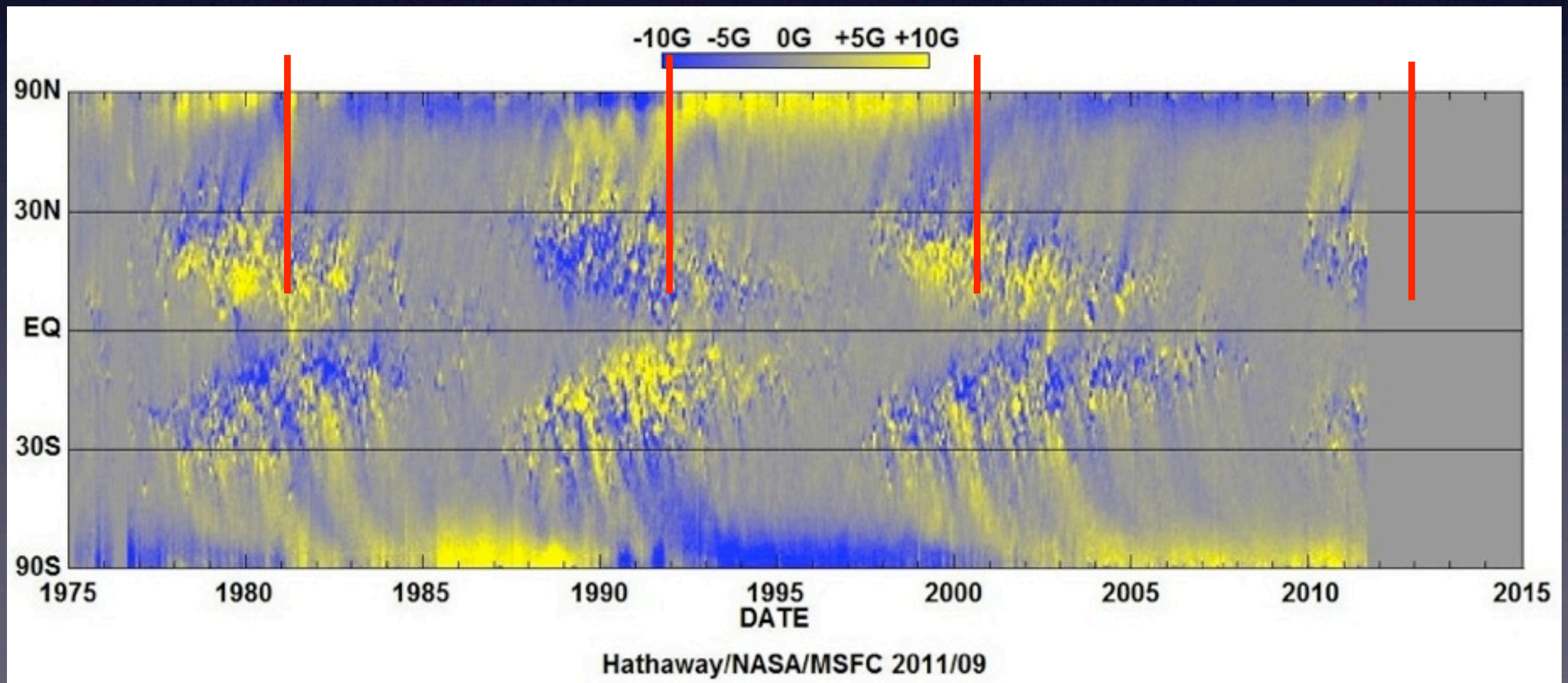
- Tendances chez ces régions magnétiques émergentes :
  - 1) orientation est-ouest systématique
  - 2) polarité inversée entre les deux hémisphères
  - 3) inversion d'un cycle à l'autre  $\Rightarrow$  cycle magnétique de 22 ans !





# Un cycle magnétique

- Tendances dans l'évolution du champ magnétique :
  - antisymétrie par rapport à l'équateur
  - cycle de 22 ans du flux magnétique aux pôles, mais déphasé d'un quart de cycle p.r. à l'activité aux mi-latitudes

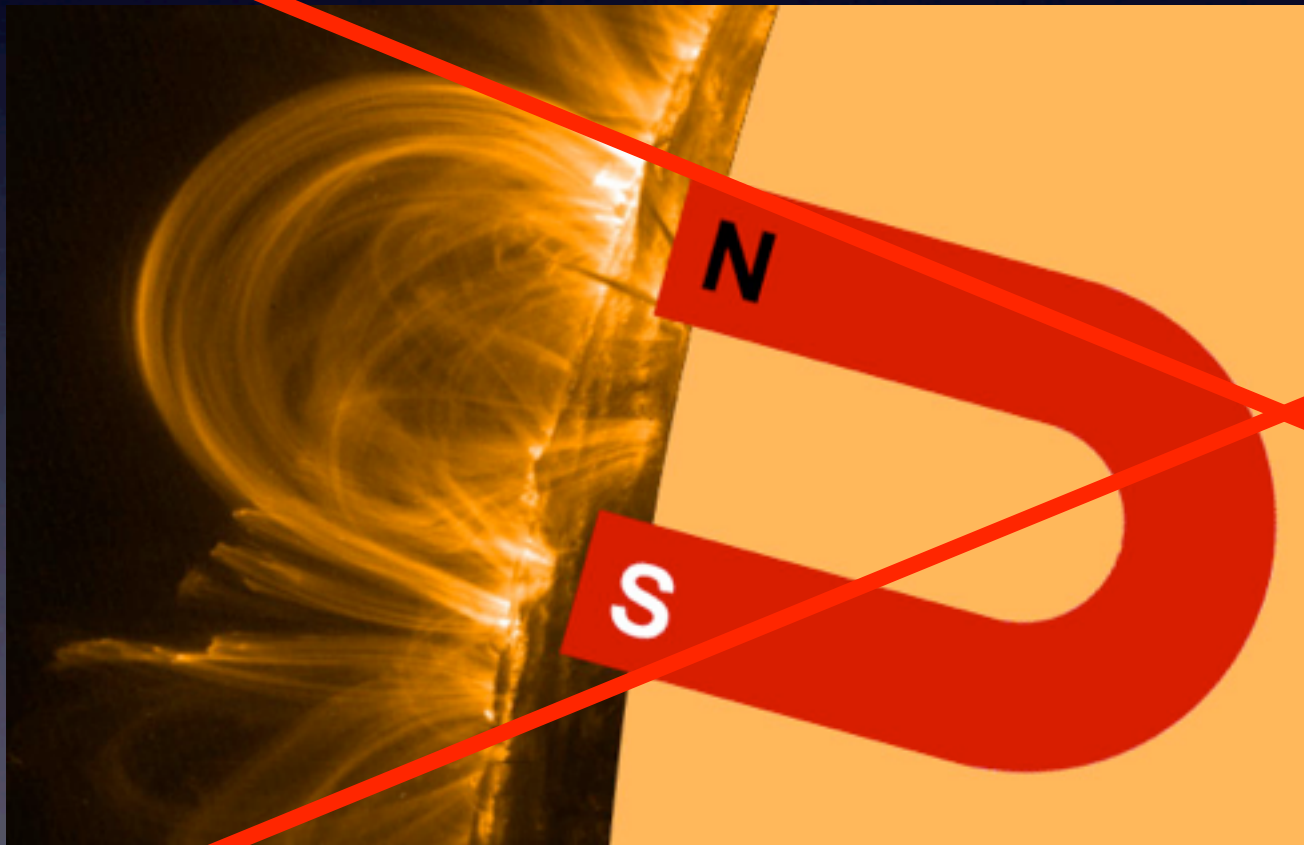


Comment générer un  
cycle magnétique ?



# D'où vient le champ magnétique ?

- D'un gros aimant au centre du Soleil ?



# D'où vient le champ magnétique ?

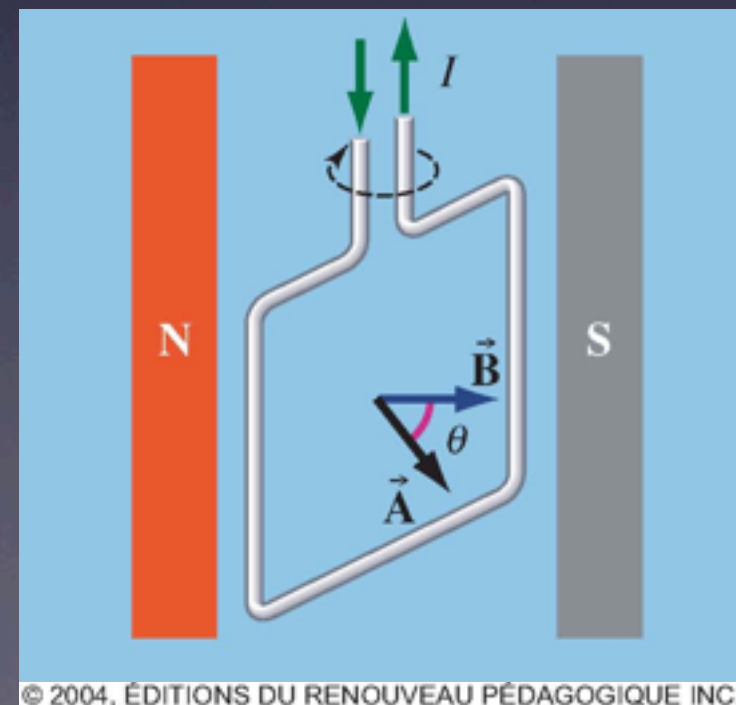
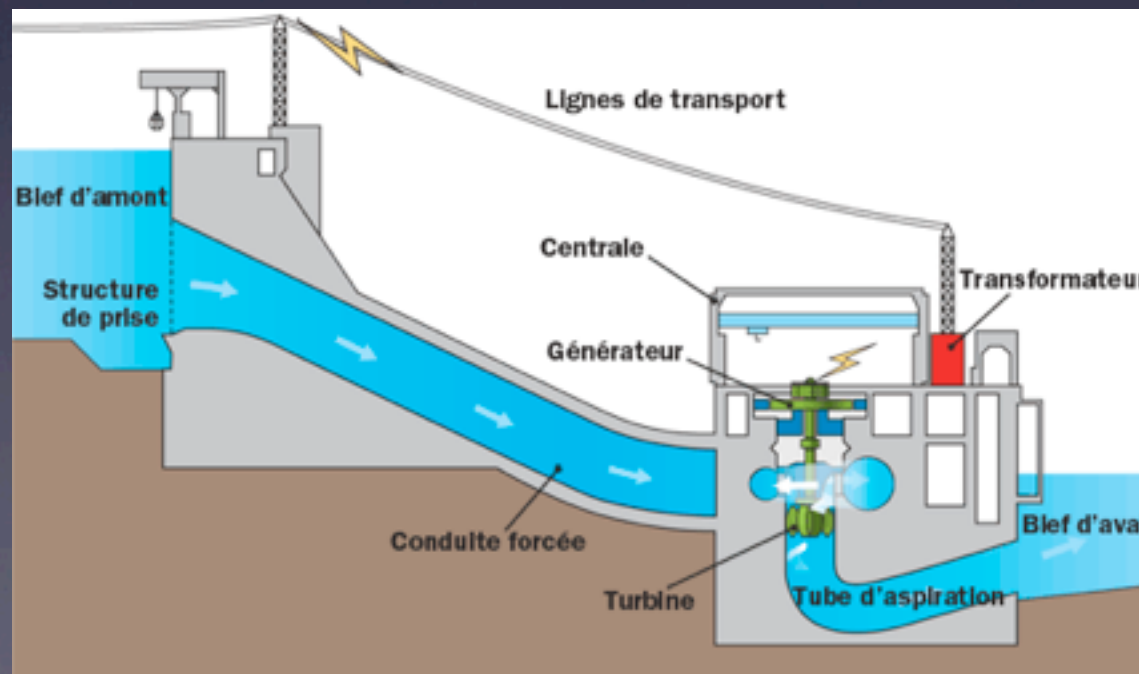
- D'une **dynamo**...

le mouvement d'un conducteur dans un champ magnétique  $B$

transformée en électricité par induction électromagnétique (cours 203-NYB)

génère un champ magnétique  $B$  !

(mais qui n'a aucun effet sur le milieu neutre environnant)





# D'où vient le champ magnétique ?

- D'une **dynamo magnétohydrodynamique** !

l'énergie mécanique de l'écoulement à vitesse  $v$  : **la rotation du Soleil**

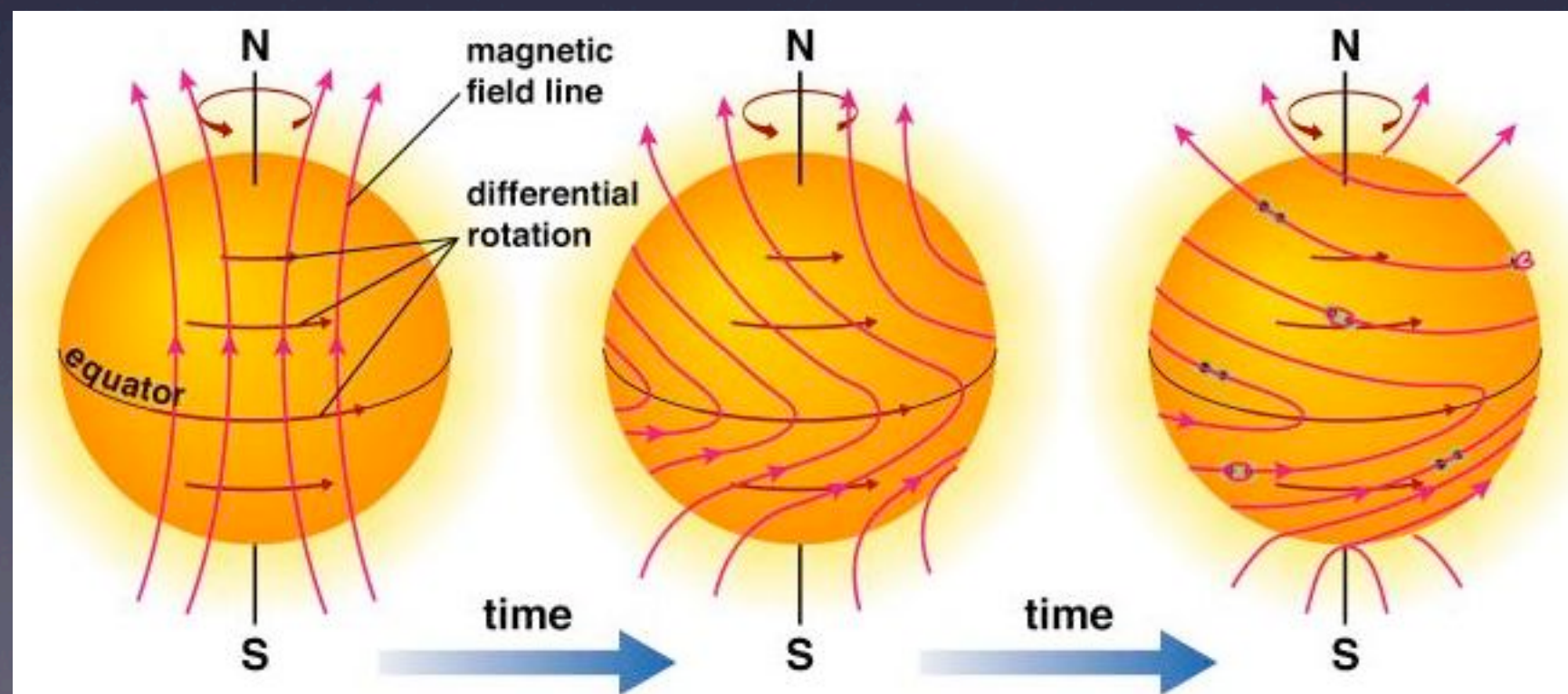
d'un fluide conducteur : **tout le plasma solaire**



transformée par induction en courants électriques  $I$  (*loi de Faraday*)



induit un nouveau champ magnétique  $B...$



# D'où vient le champ magnétique ?

- D'une **dynamo magnétohydrodynamique** !

l'énergie mécanique de l'écoulement à vitesse  $v$  : **la rotation du Soleil**

d'un fluide conducteur : **tout le plasma solaire**



transformée par induction en courants électriques  $I$  (*loi de Faraday*)



induit un nouveau champ magnétique  $B...$



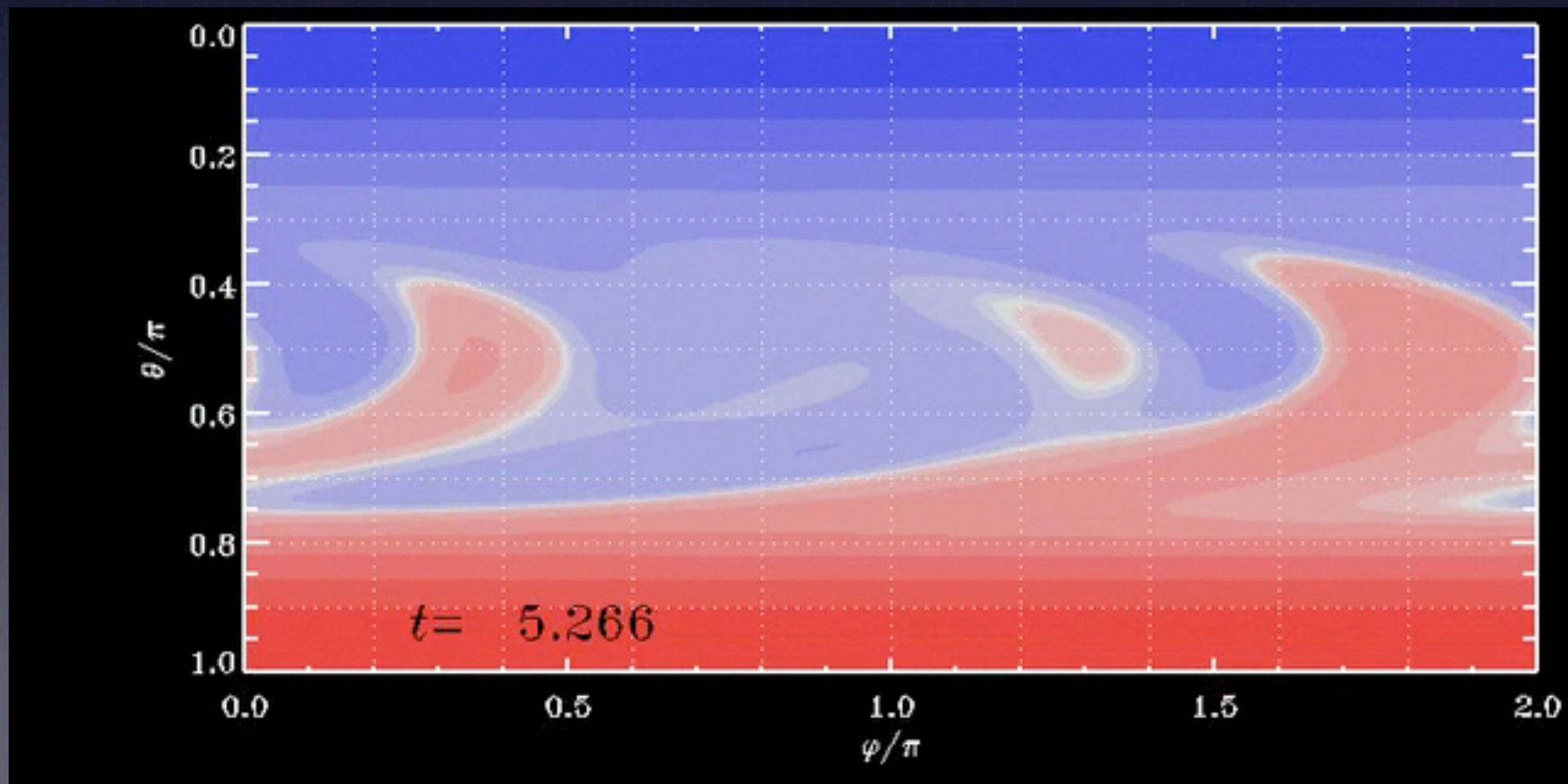
qui peut lui-même agir sur l'écoulement  $v$  du fluide (*force de Lorentz*) et :

- si tout va bien, le cycle dynamo continuera en s'amplifiant...
- si tout va mal, le cycle dynamo sera tout de suite bousillé...



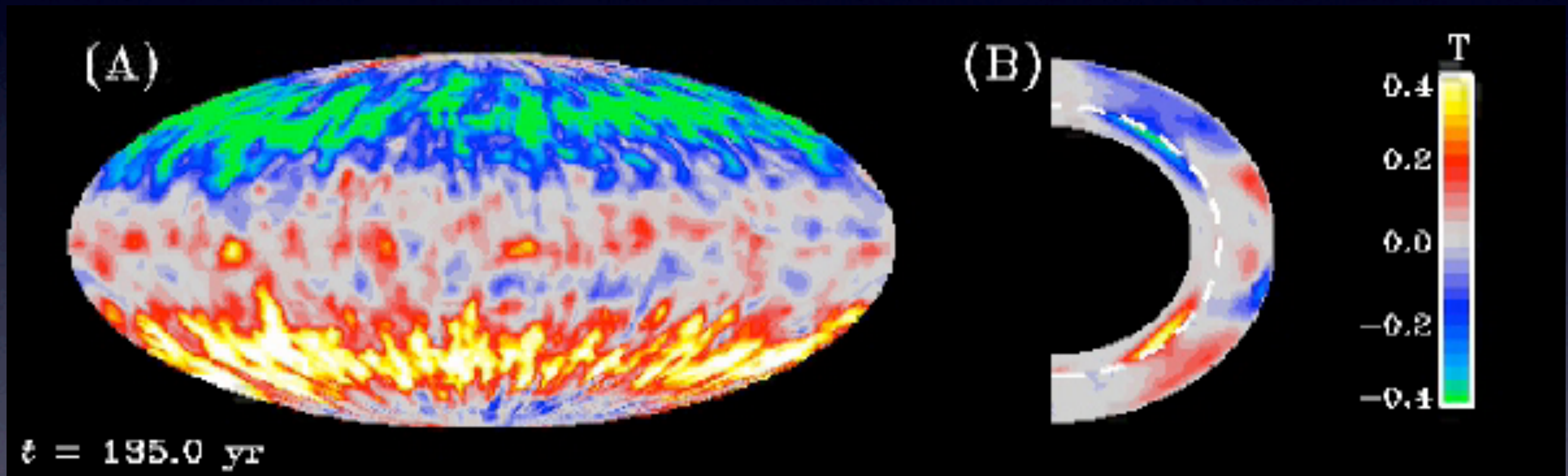
# Une dynamo **cyclique**

- Un juste équilibre :
  - le champ magnétique atteint une valeur limite
  - le comportement des instabilités aux petites échelles tend à renverser la polarité déjà présente
  - et l'amplification peut se poursuivre dans l'autre sens !



# Une dynamo **cyclique**

- Et voilà, nous sommes heureux !





À retenir

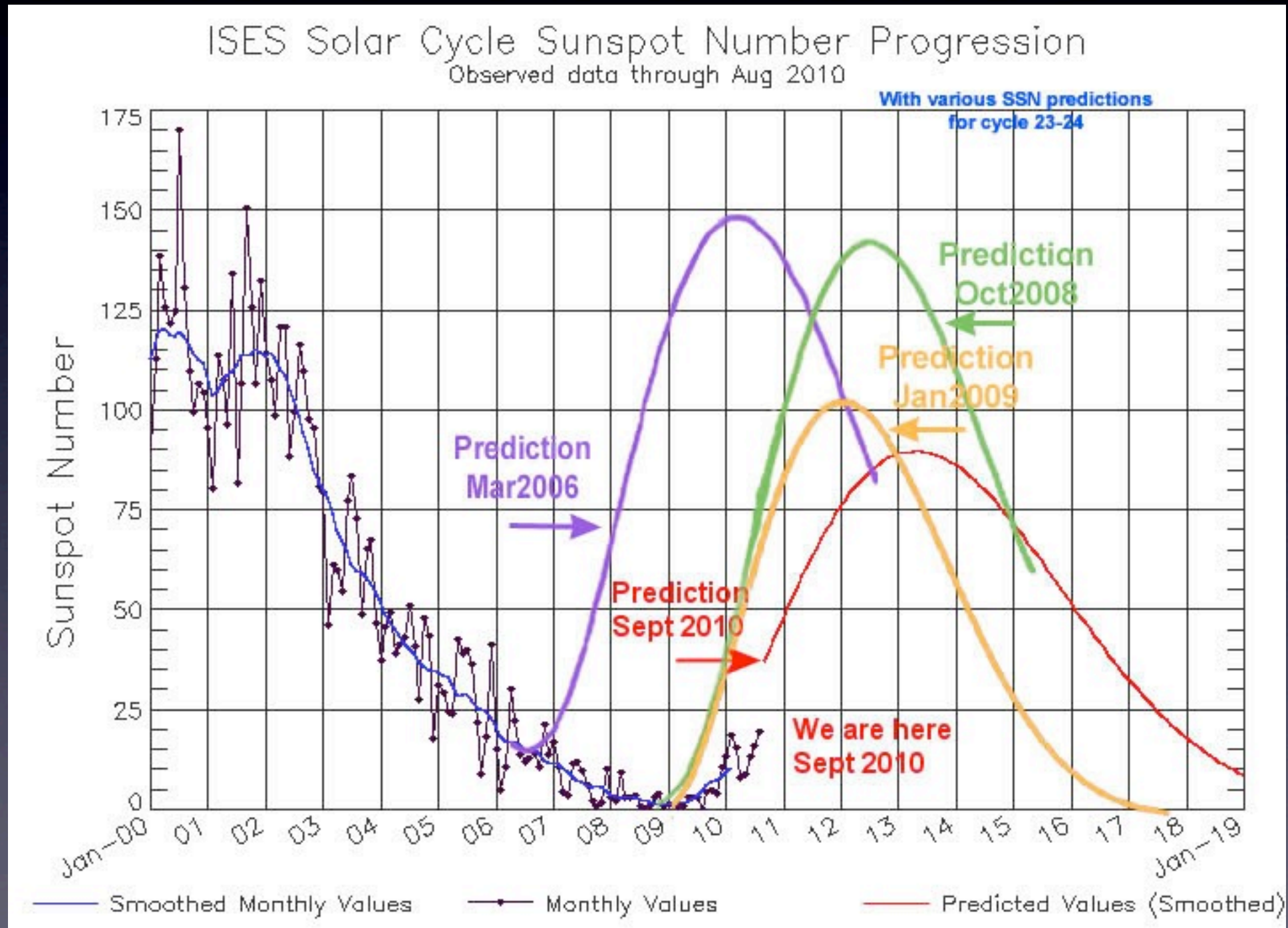
# À retenir

- Le cycle d'activité solaire est observé dans :
  - le nombre de taches et d'éruptions solaires,
  - le rayonnement solaire net, mais surtout radio et ultraviolet
- L'activité solaire a des effets concrets sur :
  - nos infrastructures (GPS, astronautes, lignes de transmission, ...)
  - la stabilité des particules de l'atmosphère terrestre (vols polaires, ...)
  - le climat... (chimie atmosphérique, couverture nuageuse, ...)
- Le cycle d'activité est magnétique :
  - la dynamo convertit l'énergie de rotation en énergie magnétique
  - des instabilités émergent en surface (taches solaires) et permettent une amplification cyclique du champ magnétique



# Et un jour, nous espérons prédire l'avenir

- Du moins pour le cycle suivant :



# Ressources numériques de Calcul Québec

- Infrastructures de calcul de haute performance de classe mondiale :
  - 9 serveurs de calcul totalisant près de 100 000 processeurs
- Accessible à tout chercheur admissible aux subventions des conseils de recherche canadiens (CRSNG, FCI, etc.) :
  - aucune demande de subvention nécessaire
  - simple demande d'ouverture d'un compte en tant que prof. de cégep
  - le Collège de Bois-de-Boulogne vient d'être ajouté comme institution membre