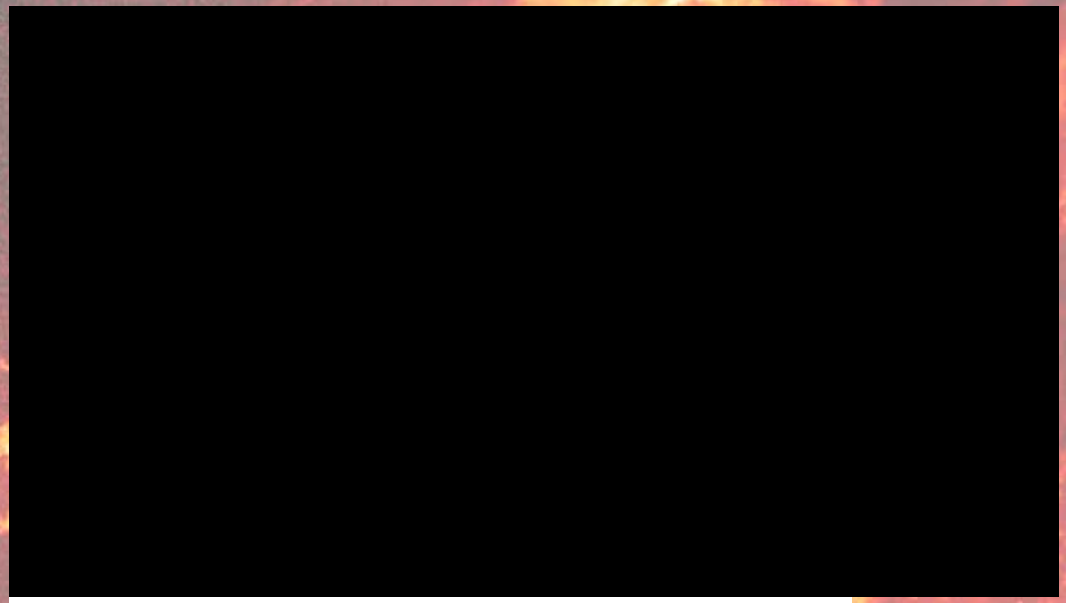
Taille de la Terre

L’ Activité Solaire

Samedi 17 Janvier 2015
Société Astronomique de Lyon
Etienne PARIAT

Eruptions solaires et théories catastrophistes



« Perfect Disasters » ep. 2 ; Discovery Channel

Films catastrophes liés à une éruption solaire

Sites web typiques de “fin du monde”

Qu’est ce que l’activité solaire ?

Qu’est ce qu’une éruption?

Quel est l’impact des éruption sur Terre?

Comment surveiller l’activité solaire?

Comment se déclenchent les éruptions ?

Un point sur Solar Orbiter:
la prochaine mission européenne d’étude de l’héliosphère

Qu’est ce que l’activité solaire ?

Le Soleil pendant une semaine: lumière visible

Taille de la Terre →

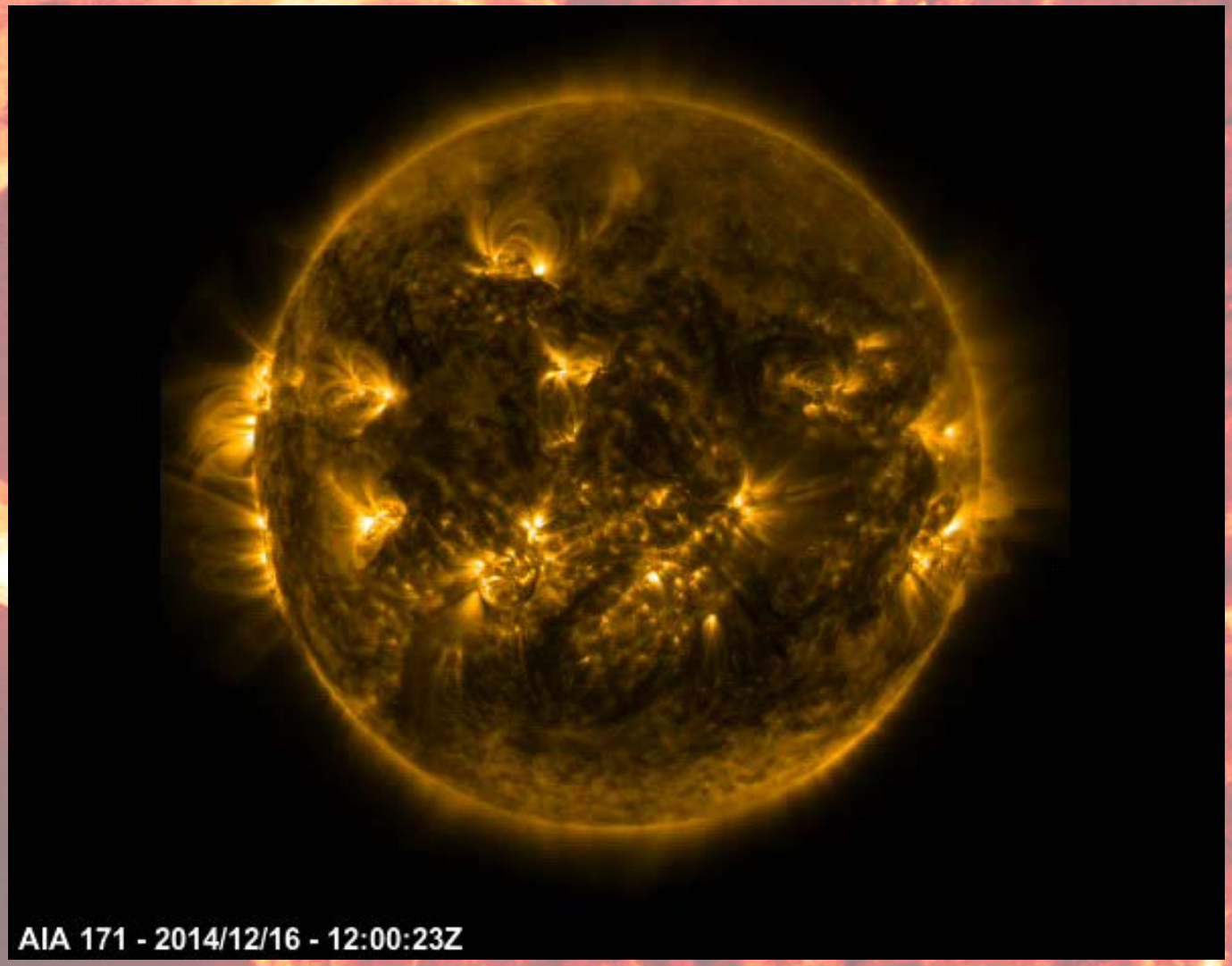
Le Soleil pendant une semaine: lumière visible

Taille de la Terre →

La surface visible du Soleil présente uniquement des variations douces.
Le flux lumineux total est quasi-constant.

Le Soleil pendant une semaine: Ultraviolet = atmosphère solaire

Taille de la Terre →



Le Soleil pendant une semaine: Ultraviolet = atmosphere solaire

Taille de la Terre →

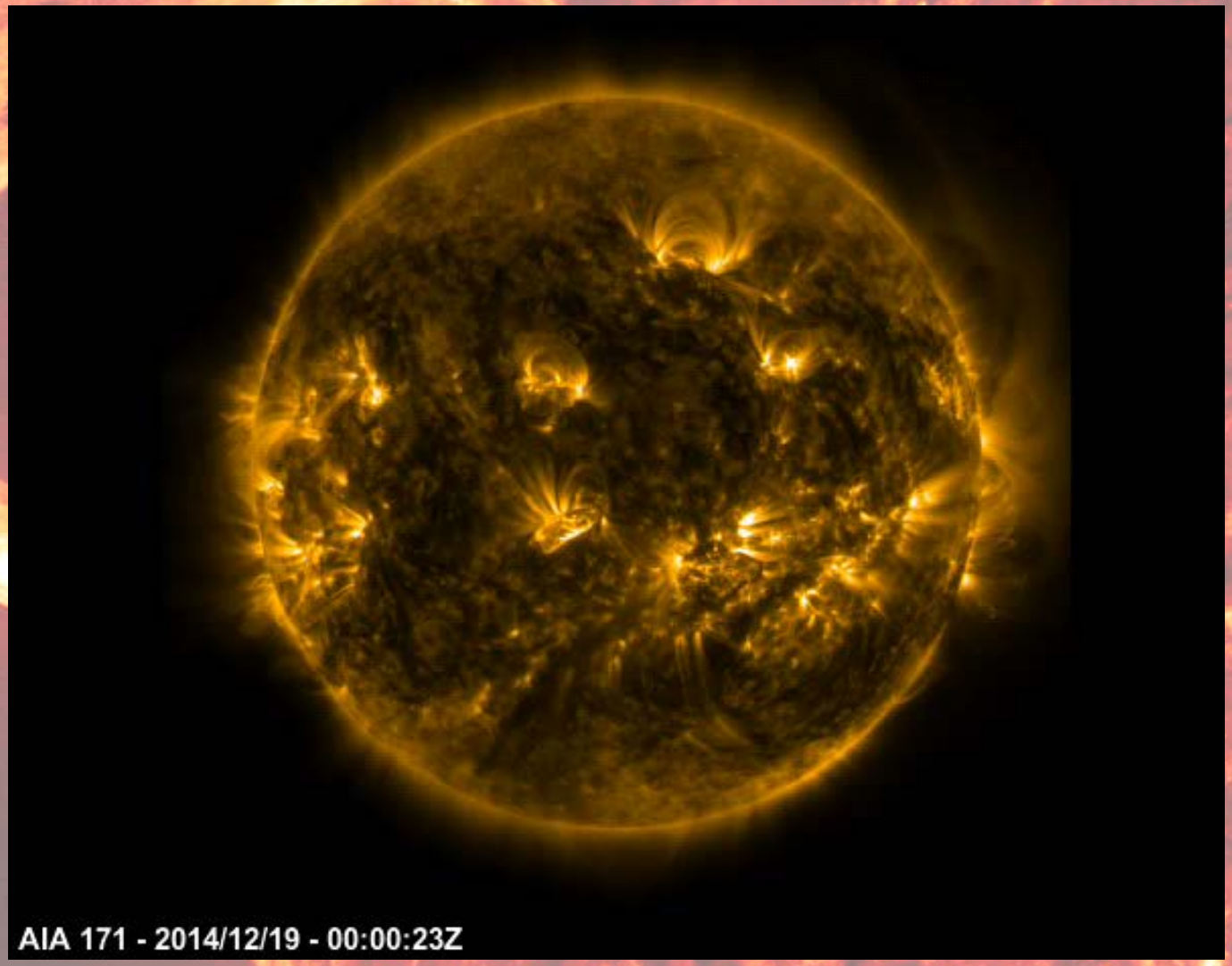
L'atmosphère solaire, observée en Ultraviolet, présente de nombreuses et soudaines variations de sa structure.

Le Soleil pendant une journée: lumière visible

Taille de la Terre →

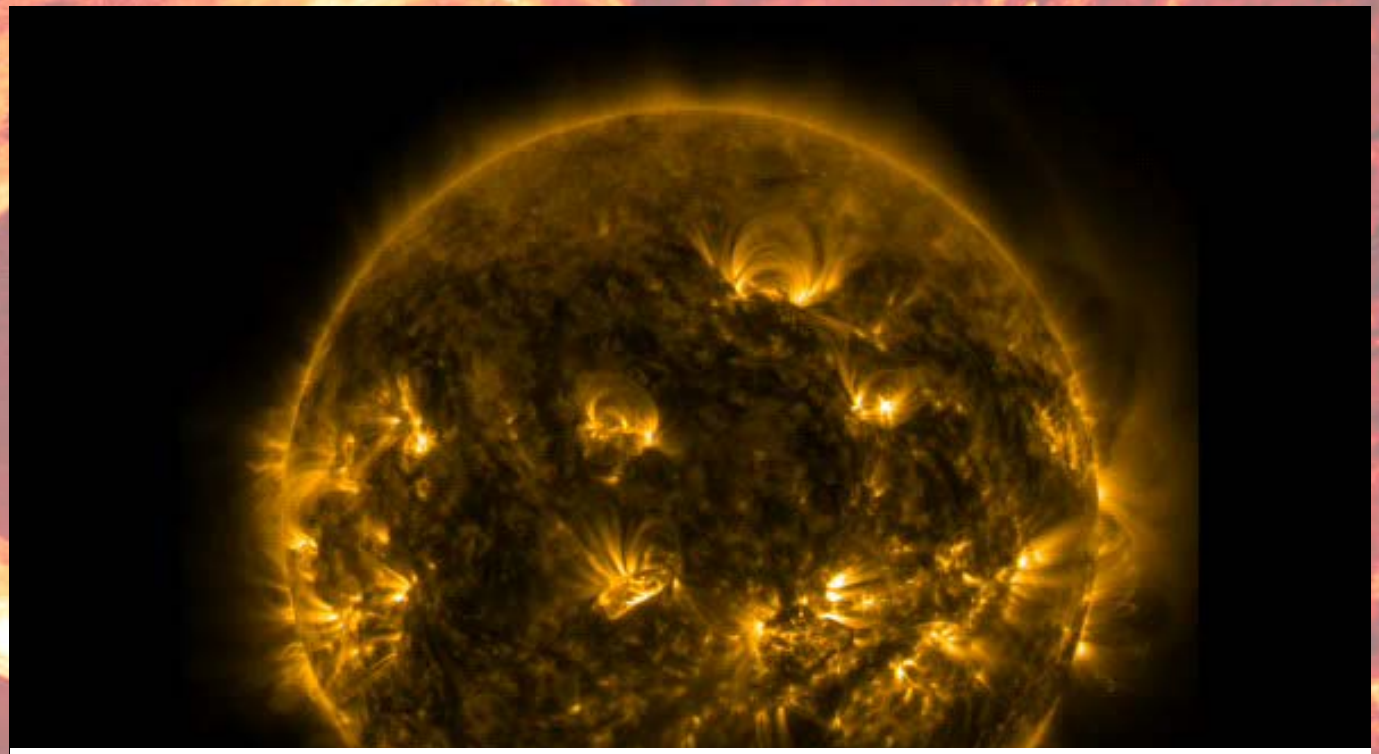
Le Soleil pendant une journée: UV = atmosphère solaire

Taille de la Terre →



Le Soleil pendant une journée: UV = atmosphère solaire

Taille de la Terre →



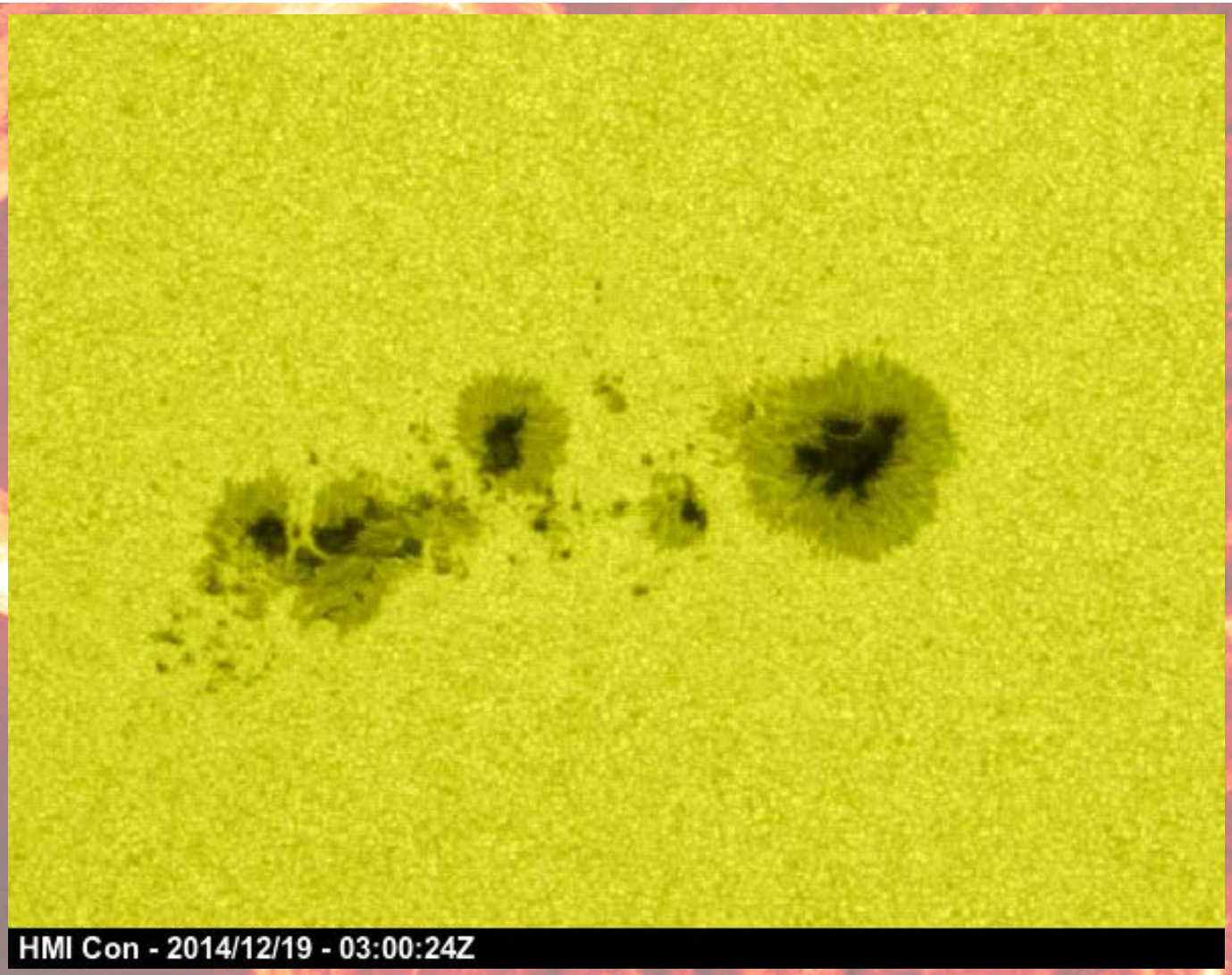
Taches solaires = régions brillantes de l'atmosphère

➔ régions actives

AIA 171 - 2014/12/19 - 00:00:23Z

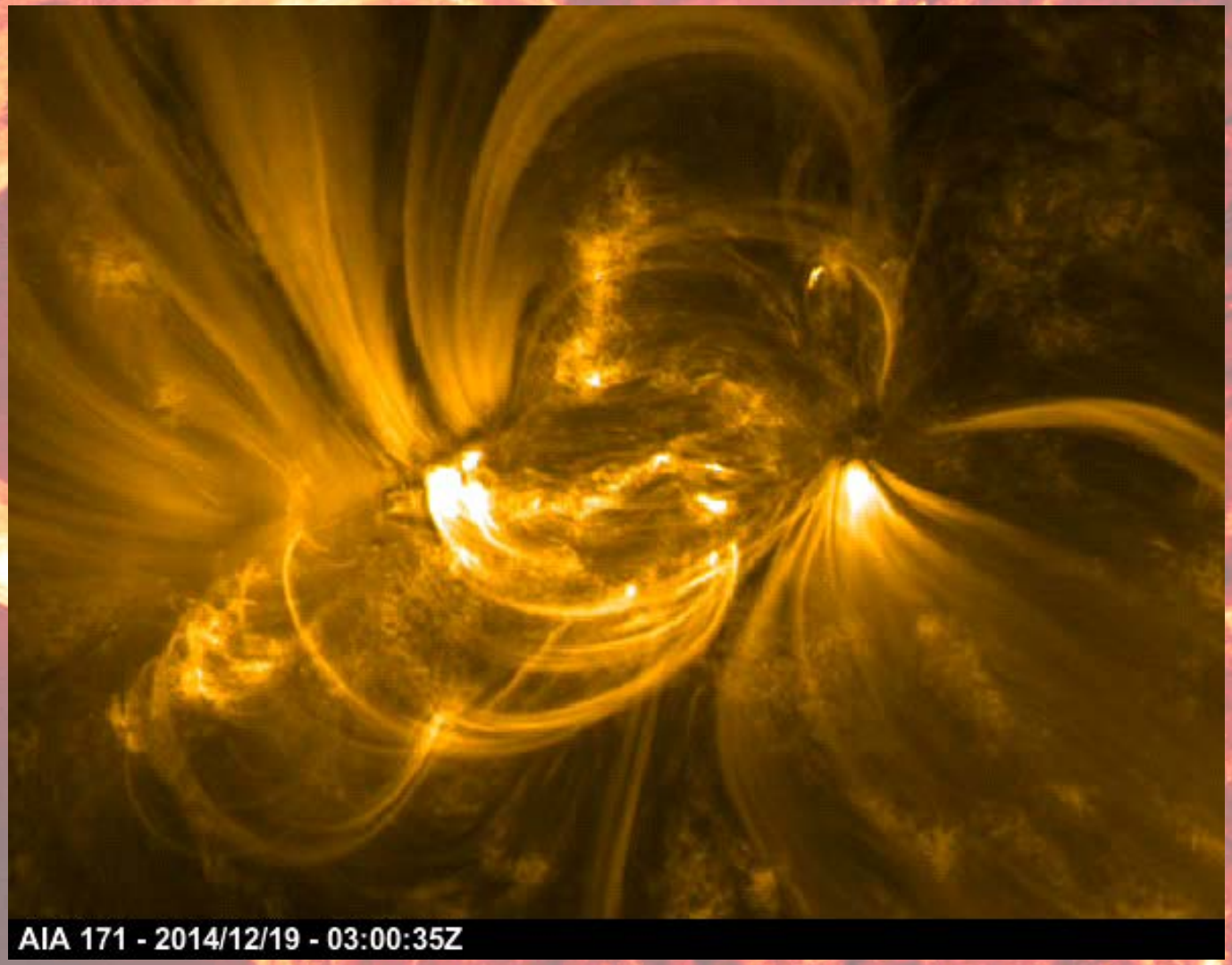
Le Soleil pendant une heure: lumière visible

Taille de la Terre →



Le Soleil pendant une heure: UV = atmosphere solaire

Taille de la Terre →

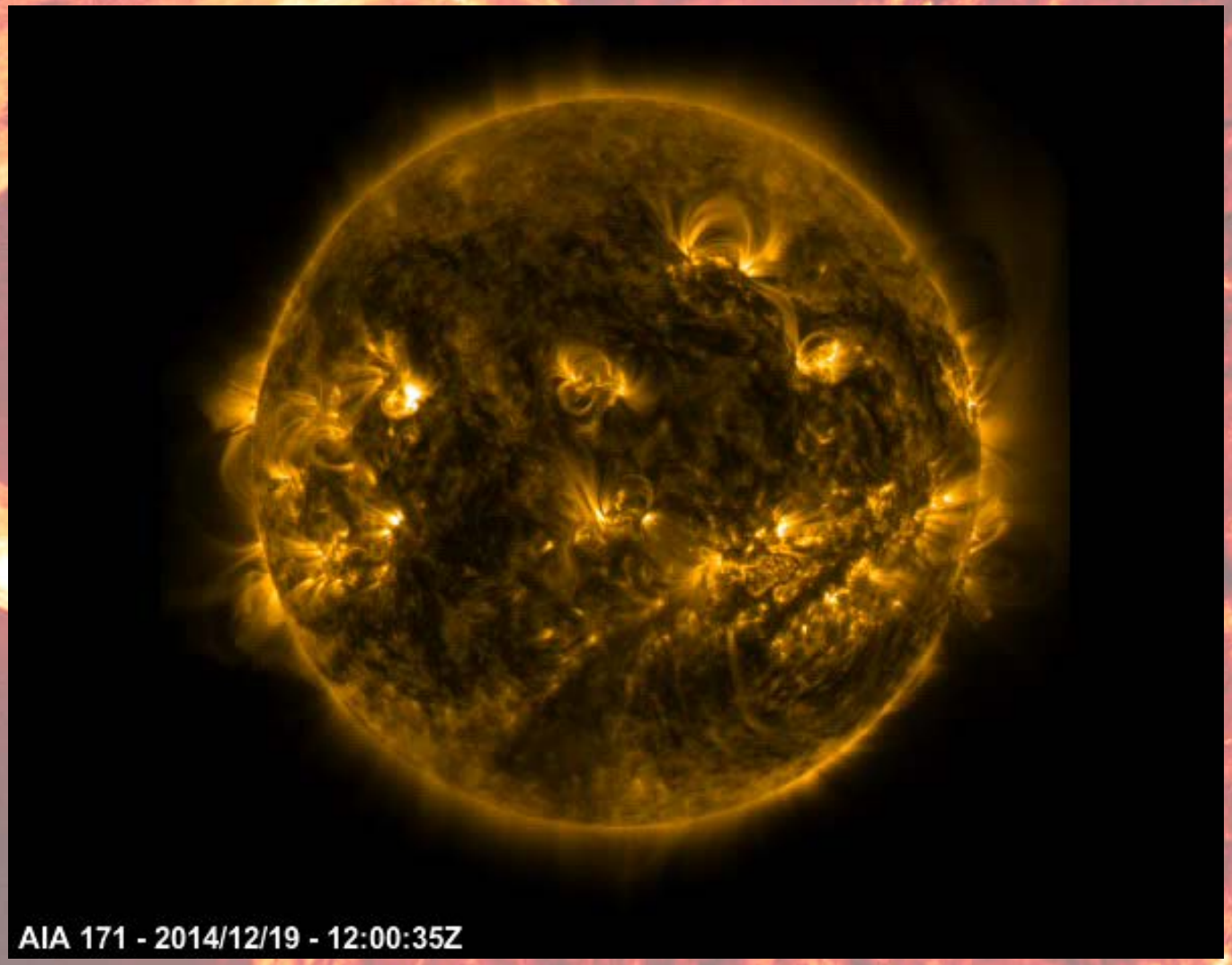


Le Soleil pendant une journée: un jour d'éruption majeure

Taille de la Terre →

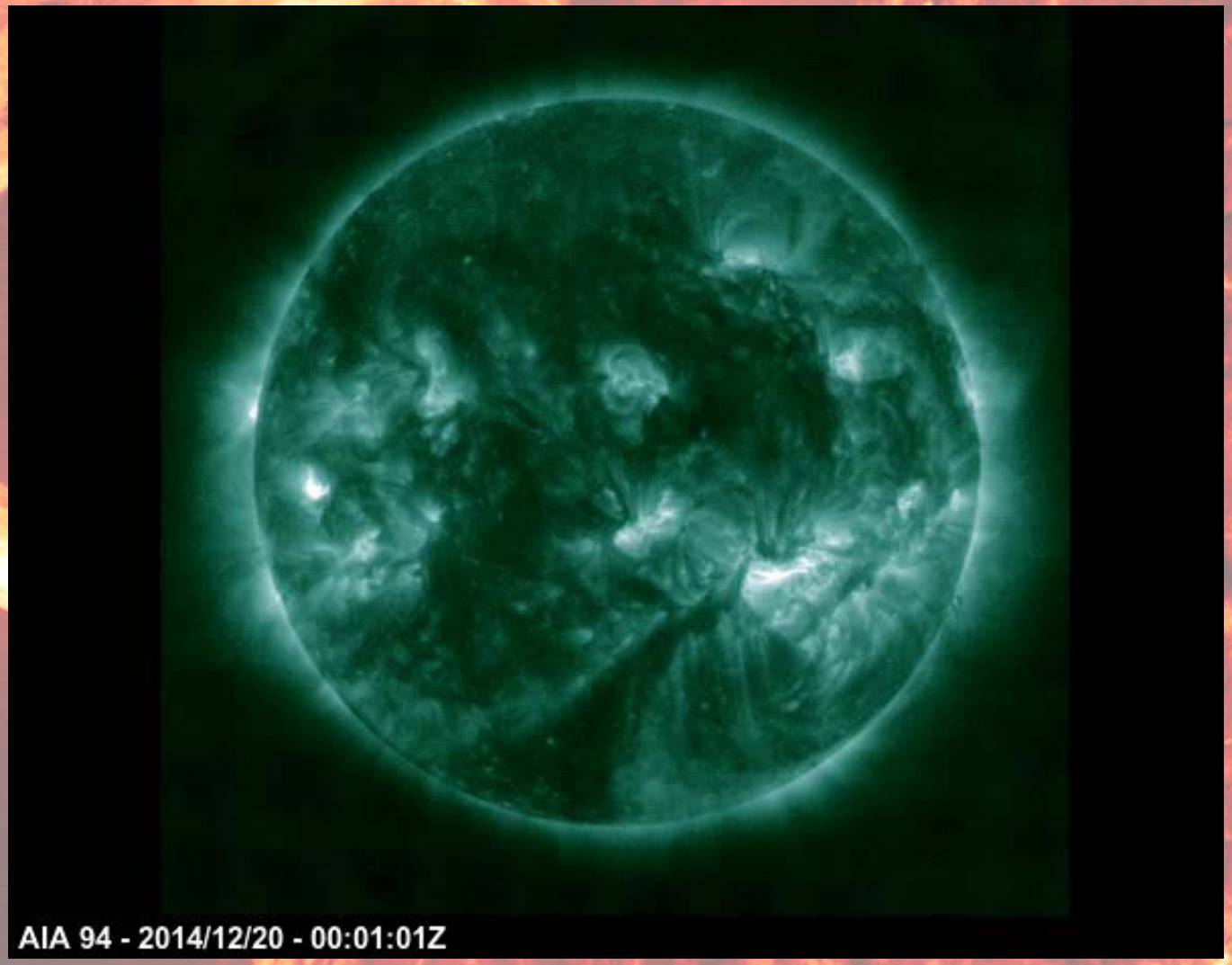
Le Soleil pendant une journée: un jour d'éruption majeure

Taille de la Terre →



Le Soleil pendant une journée: un jour d'éruption majeure

Taille de la Terre →

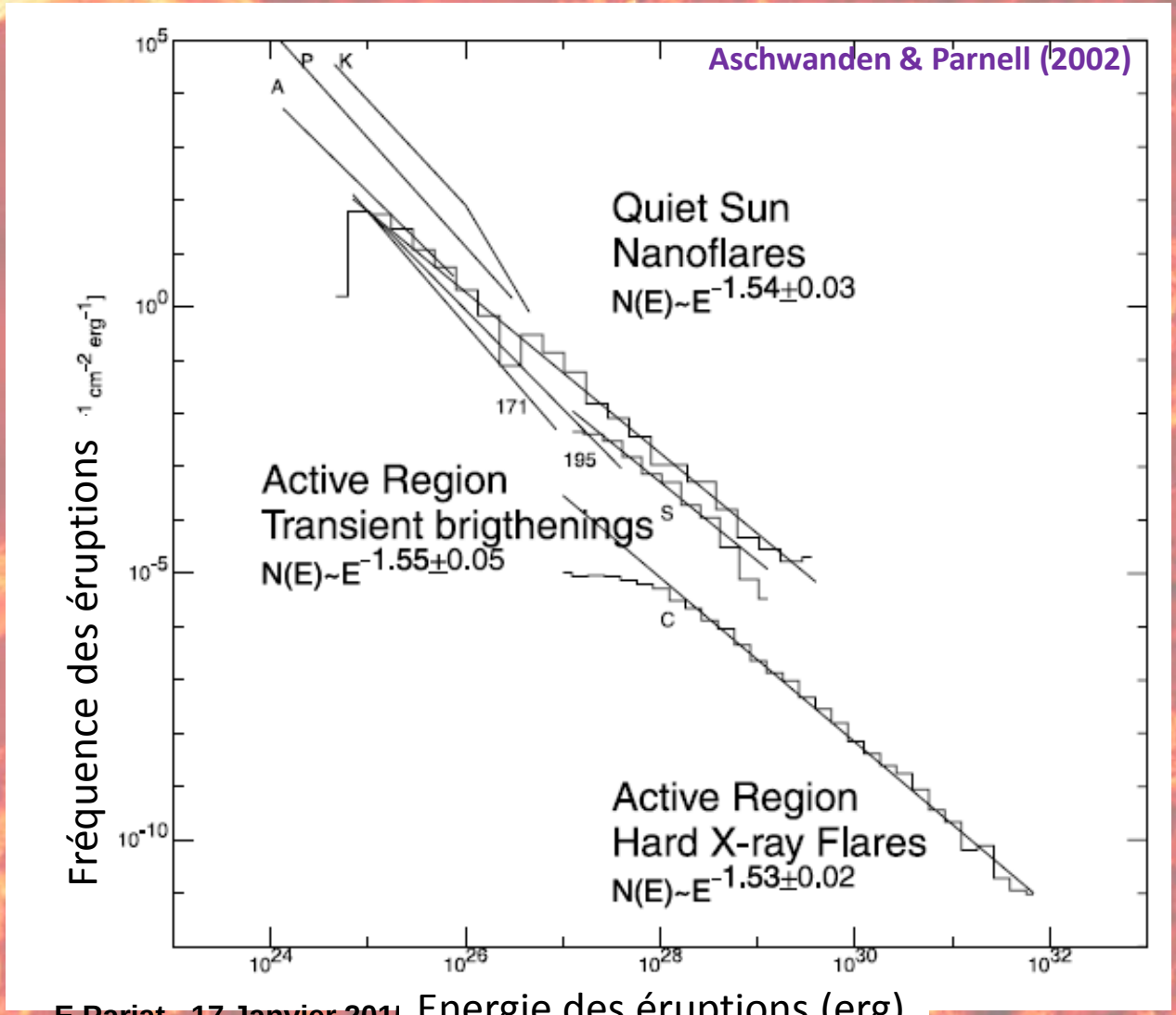


Température > 6 millions de °K

Distribution en énergie des éruptions

- L'activité solaire se déroule sur une vaste gamme d'échelles:
  - temporelle
  - spatiale
  - énergétique

- La fréquence des éruptions est inversement proportionnelle à leur « taille ».



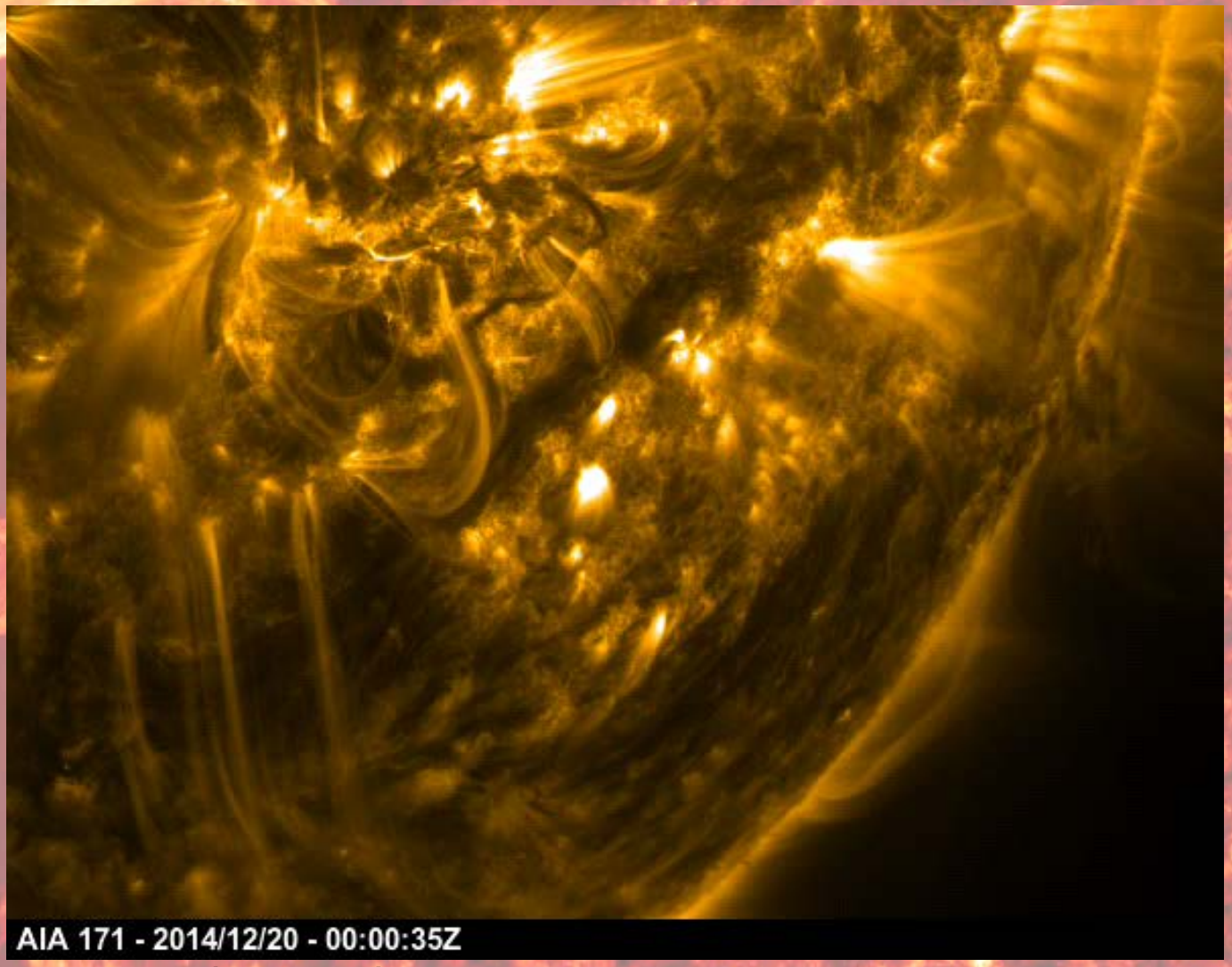
Qu’est ce qu’une éruption?

Une éruption solaire majeure

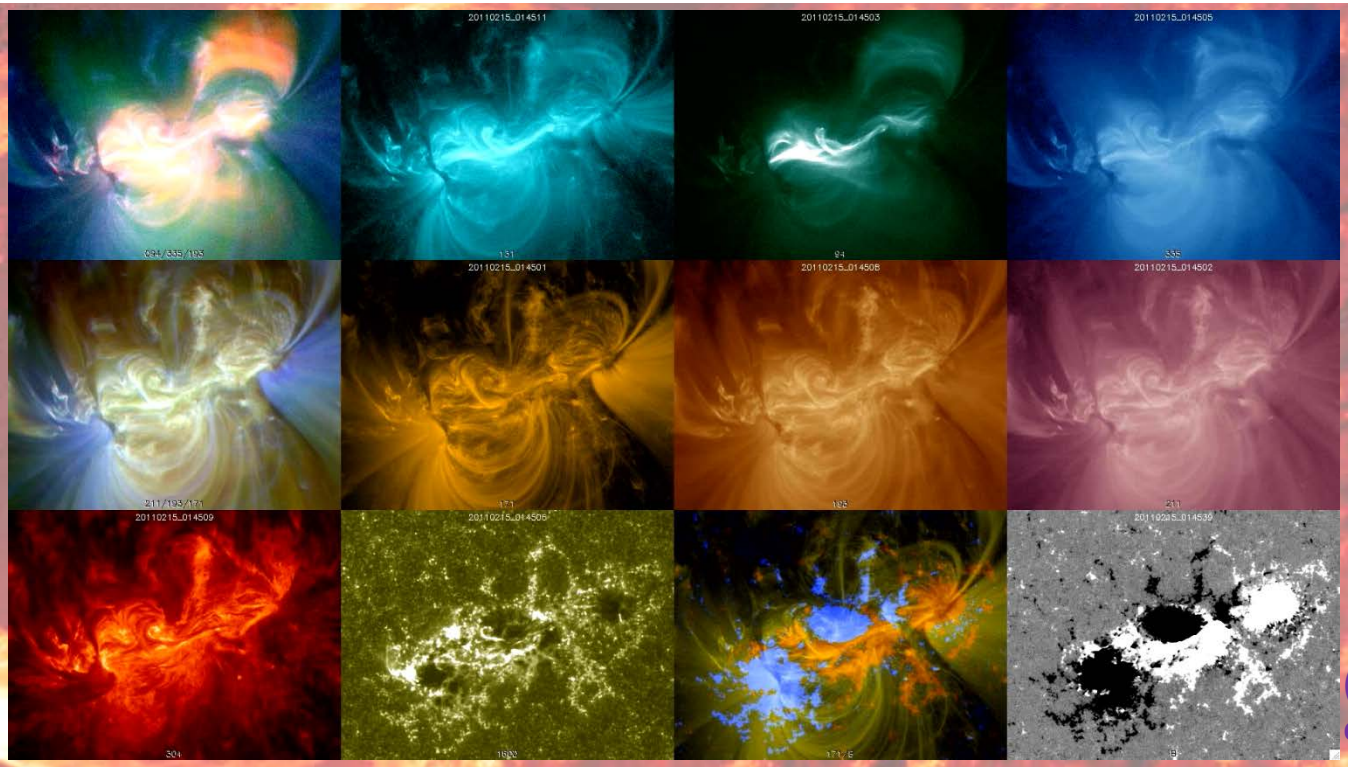
Energie: 10^{26} J

- 1 milliard de fois Tsar Bomba
- 1 million de fois consommation mondiale annuelle d'énergie
- 1 millième énergie de la rotation terrestre

Taille de la Terre →

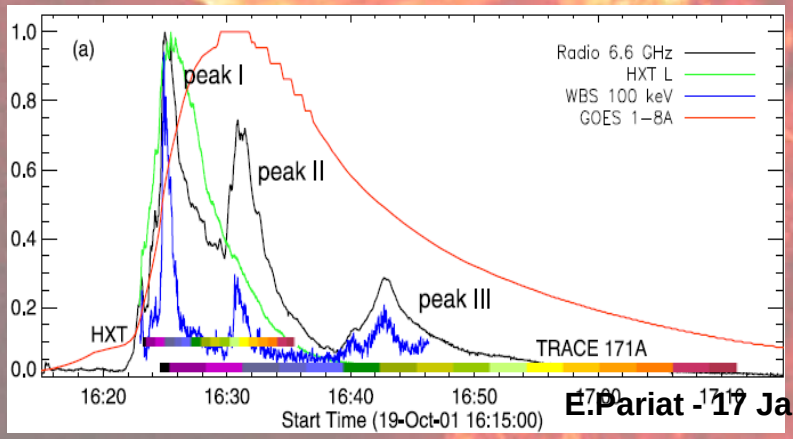


Embrillancement - « Flare »



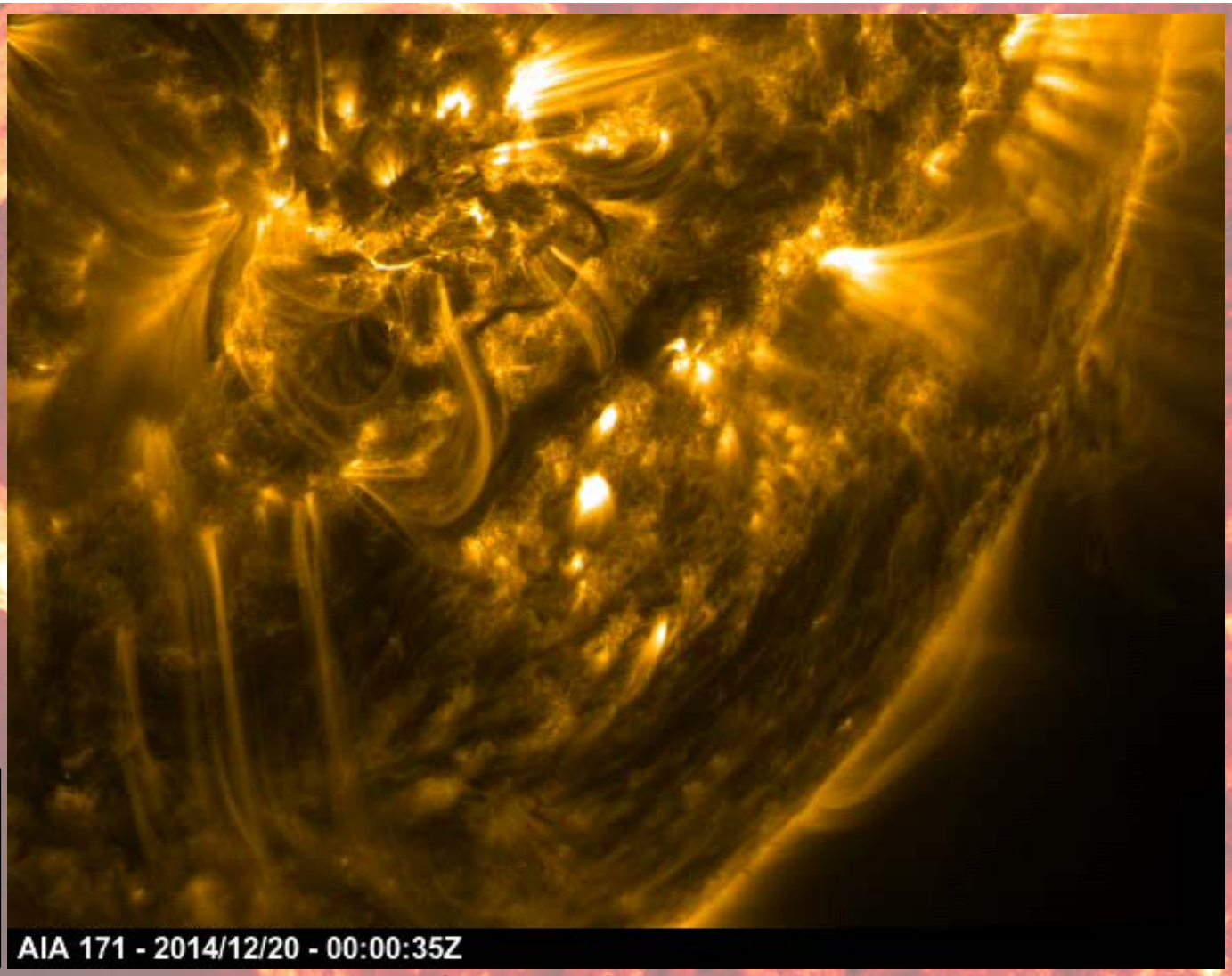
(Fletcher et al. 11)

(Schrijver et al. 11)

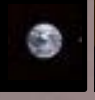


- **“Flare”: embrillancement soudain se développant dans l’ensemble du spectre électromagnétique**
- Photons arrivent au niveau de l’orbite terrestre en ~500 s.

Une éruption solaire majeure



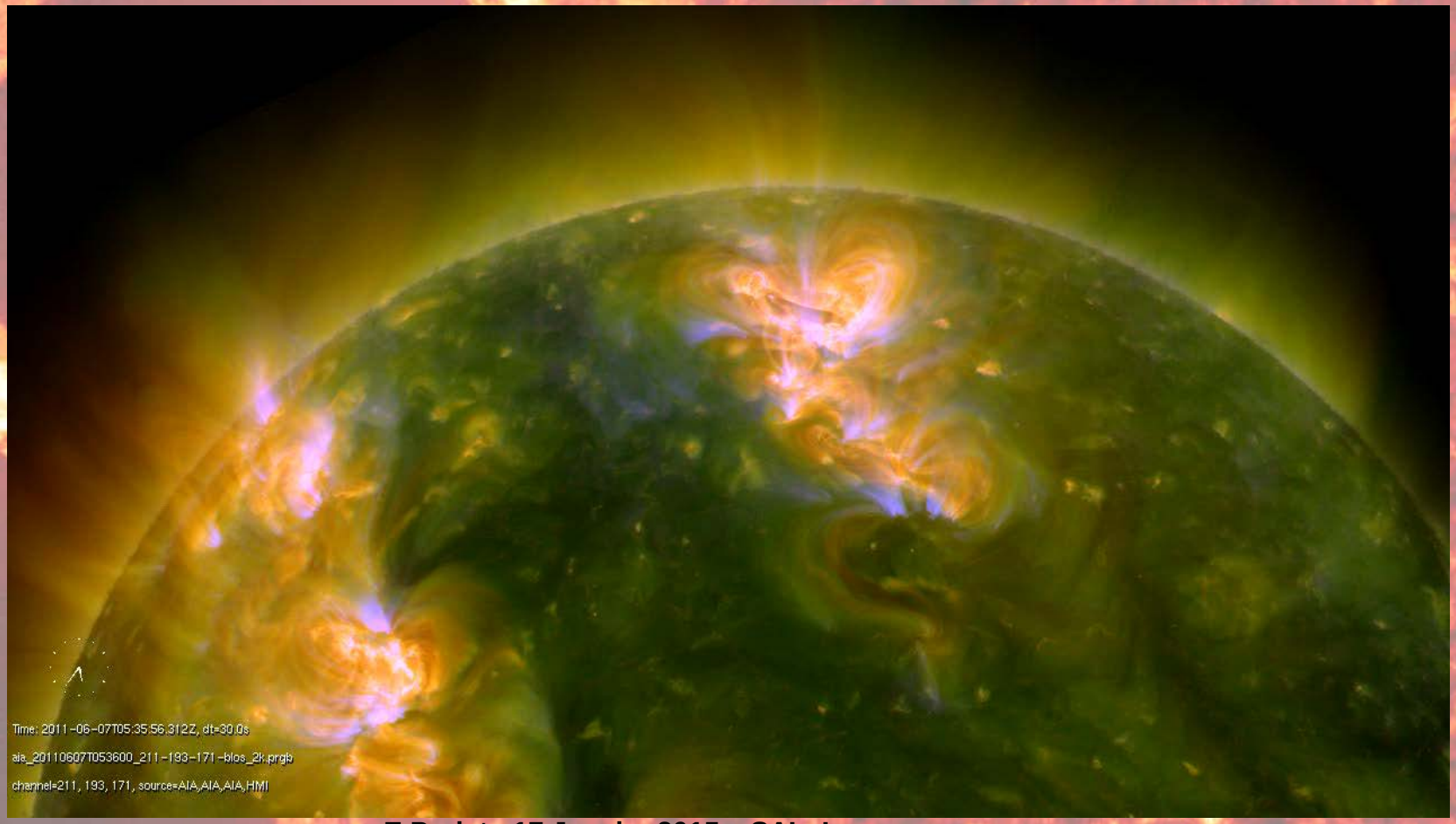
Taille de la Terre →



Ejections de Masse Coronales (CME)

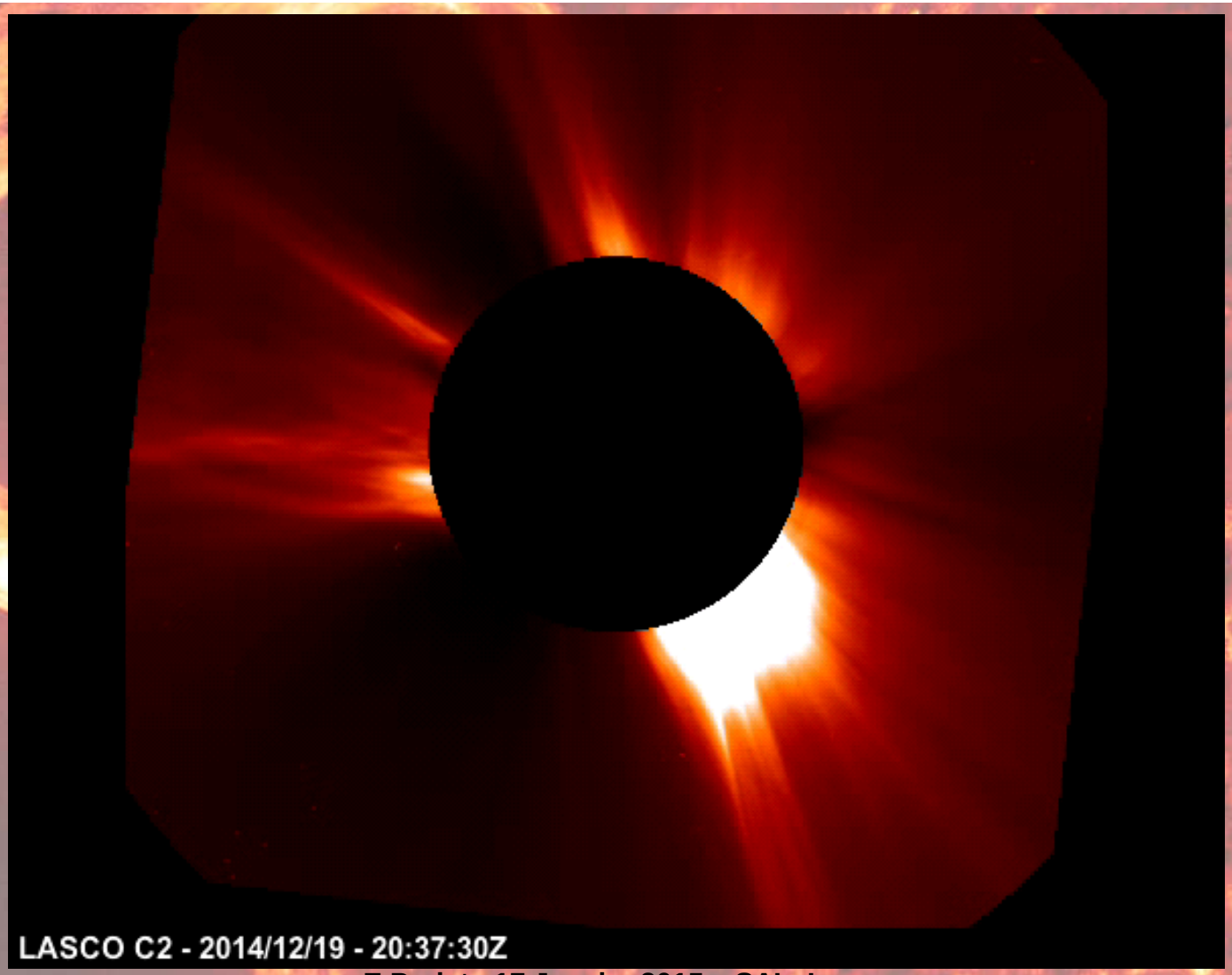
CMEs: ejection violente de matière solaire vers l'héliosphère

Vitesse: 300-2000 km.s^{-1} ; Masse: 10^{10}-10^{12} kg ; Energie: $<10^{26}$ J

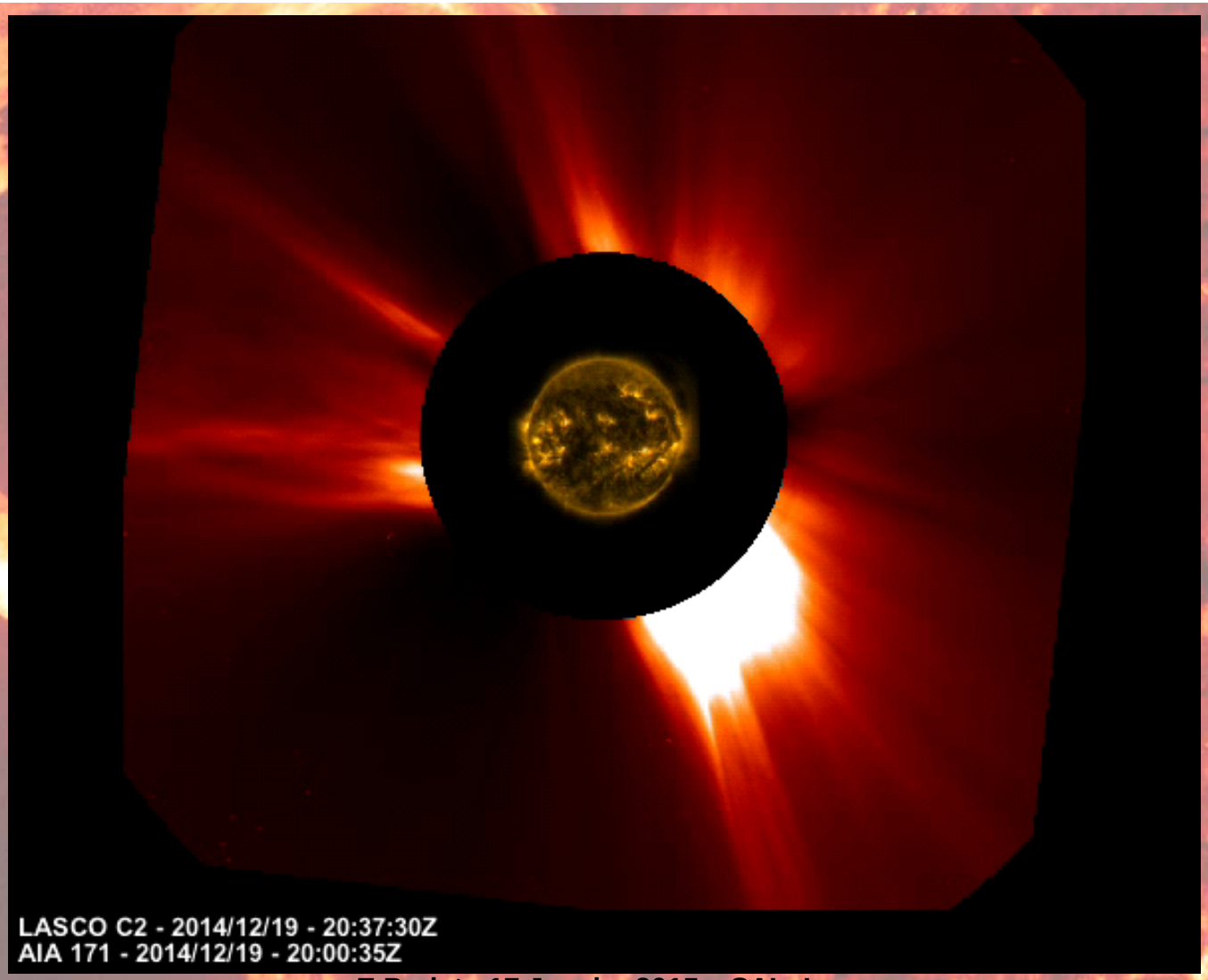


Taille de la Terre →

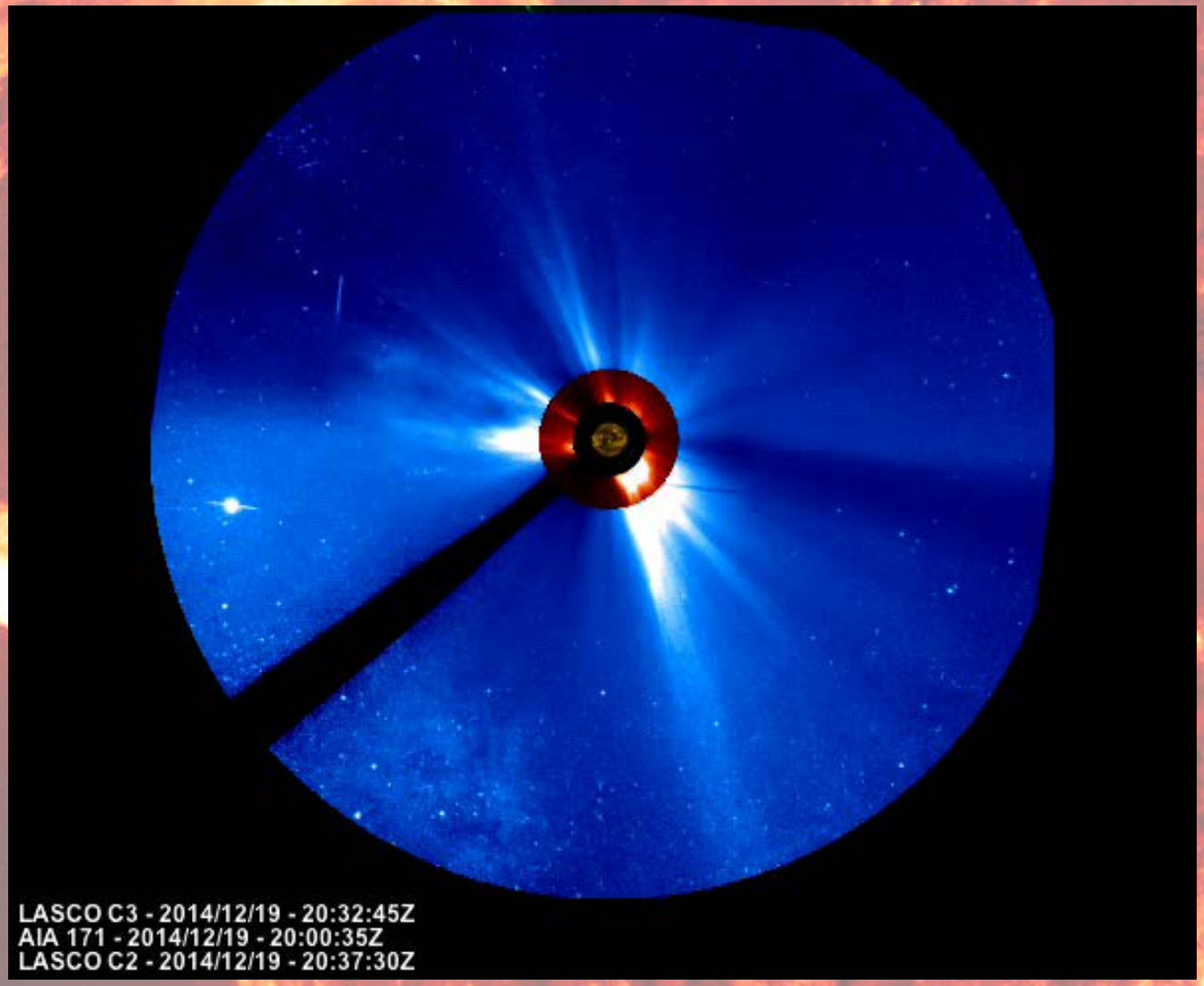
Une éruption solaire majeure:
Coronographe = éclipse artificielle



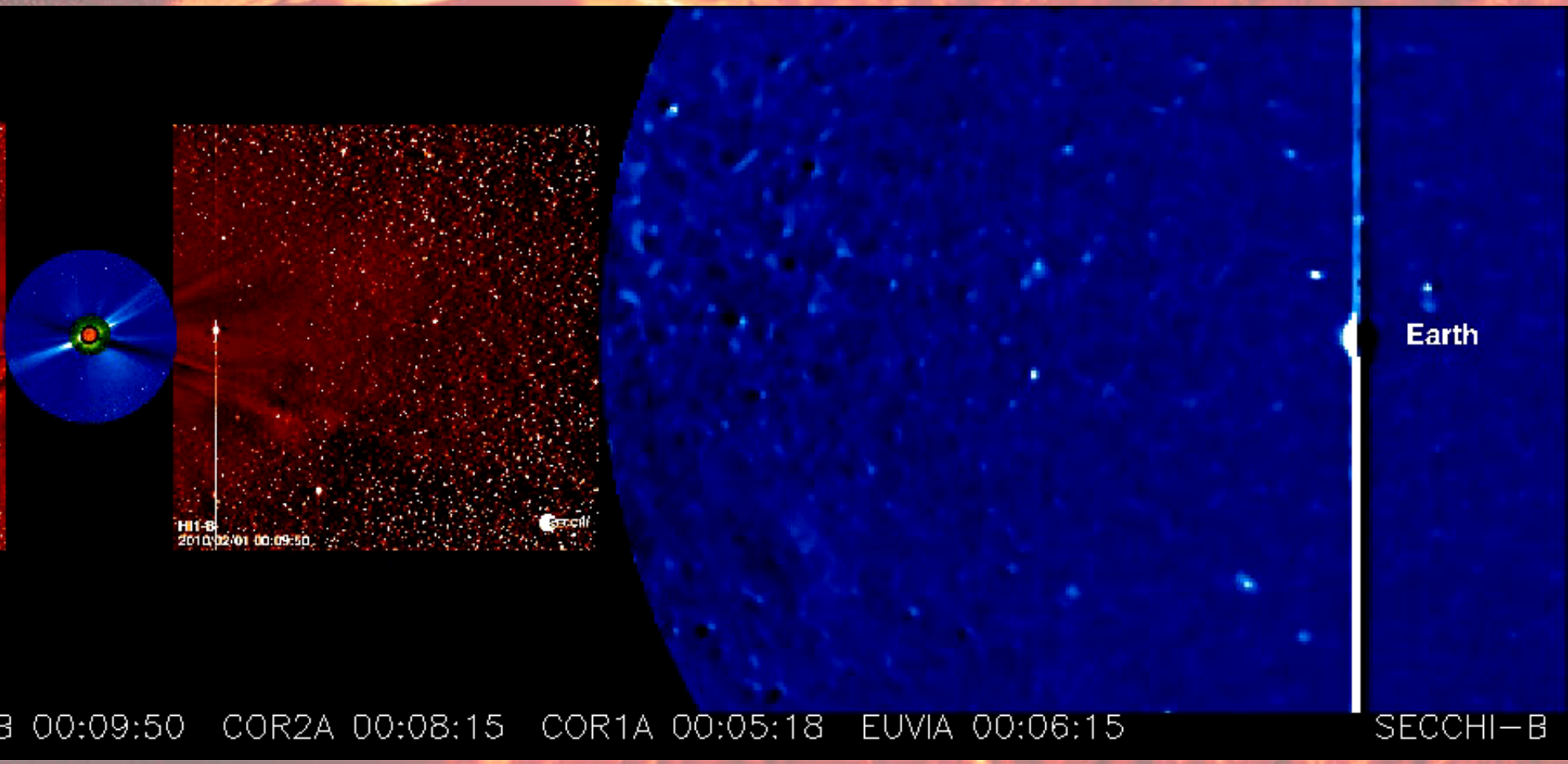
Une éruption solaire majeure:
Coronographe = éclipse artificielle



Une éruption solaire majeure: matière éjecté vers l'espace

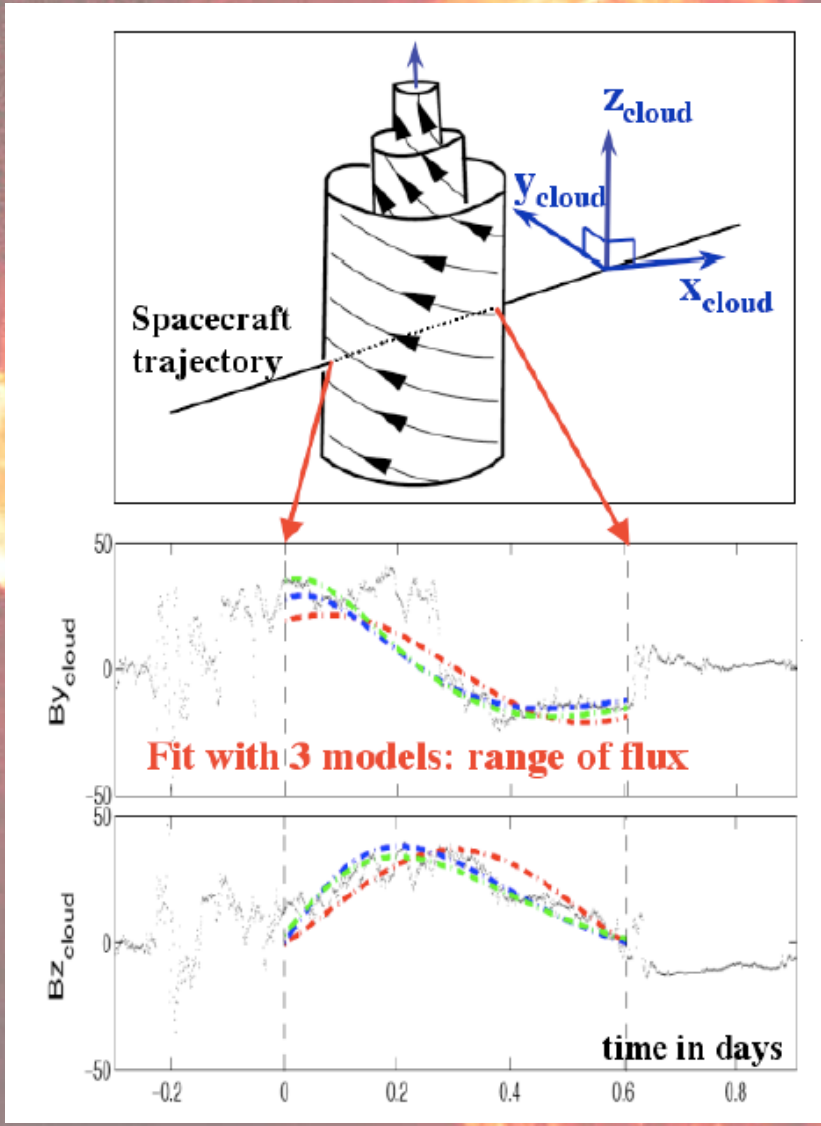


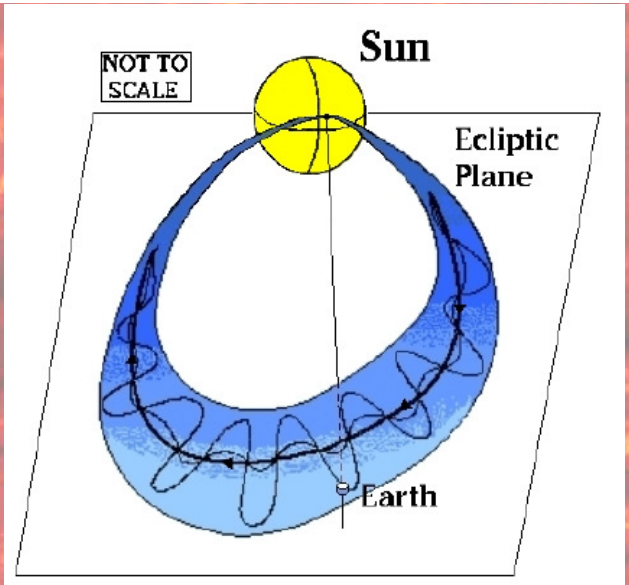
La propagation des Ejections de Masse Coronales dans le système solaire observée par STEREO



Crédits: NASA

Ejections de Masse Coronales



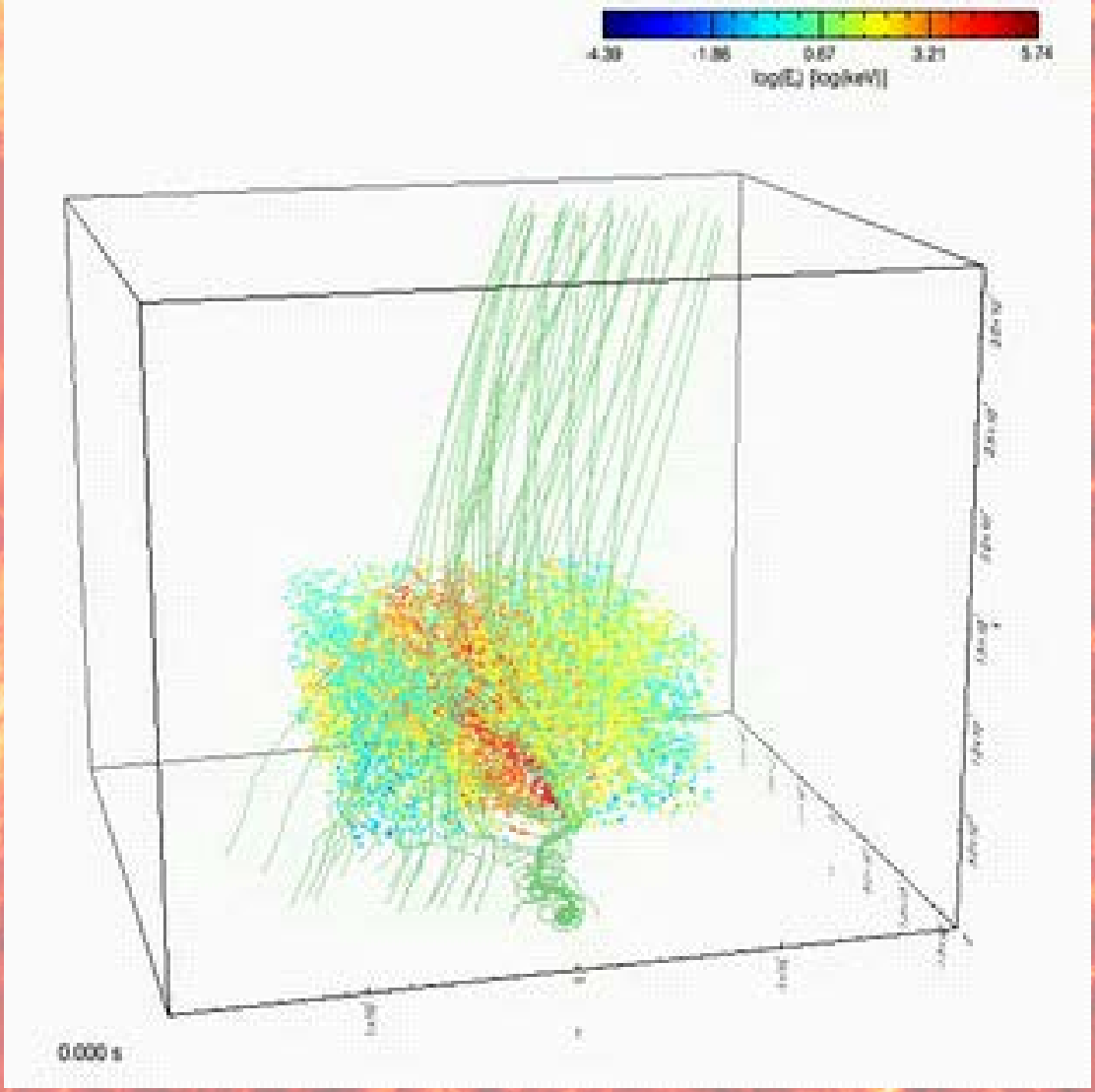


- CMEs: grande structure de matière solaire magnétisé.
  ➔ radiations
- Champ magnétique structuré: tube de flux magnétique torsadé.

Particules énergétiques

- **Des particules de l'atmosphère solaires sont accélérés à des vitesses relativistes**
  - Faisceaux d'électrons de protons et de neutrons
  - Acquièrent une énergie importante, peuvent atteindre le GeV (10^{-10} J) ➔ très fort pouvoir irradiant

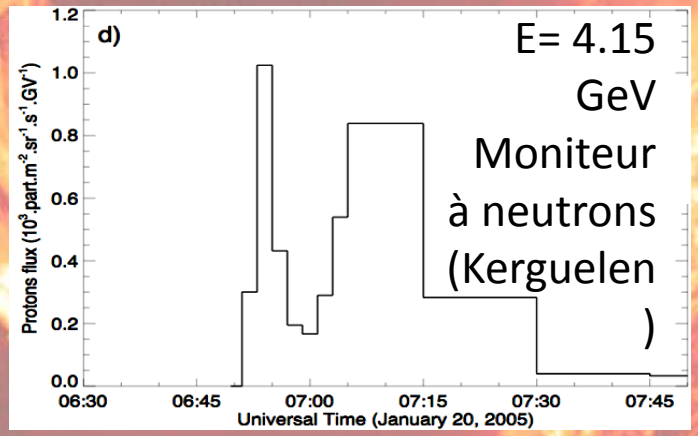
- Site d'accélération (?):
  - Au sein de l'éruption
  - Au niveau de la CME

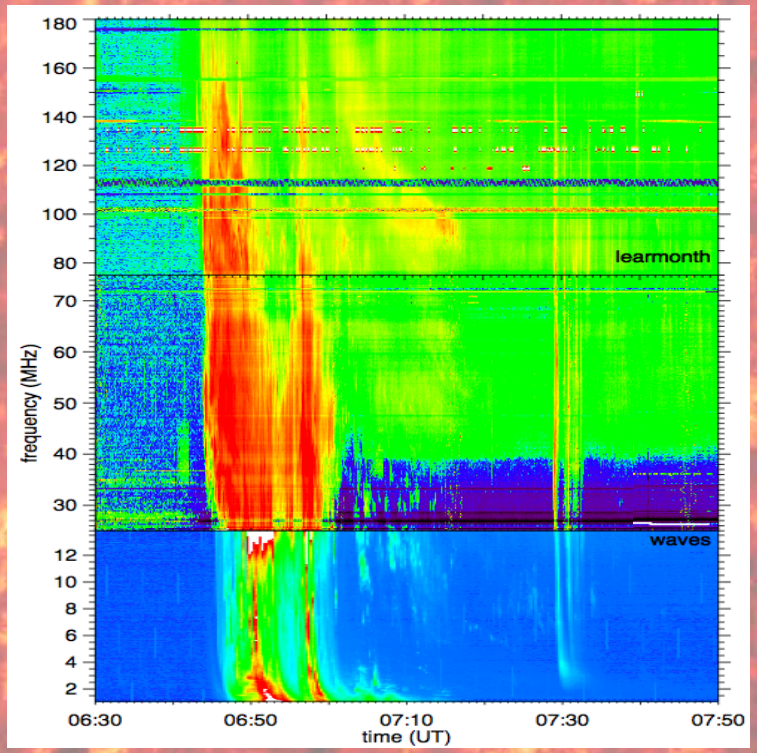


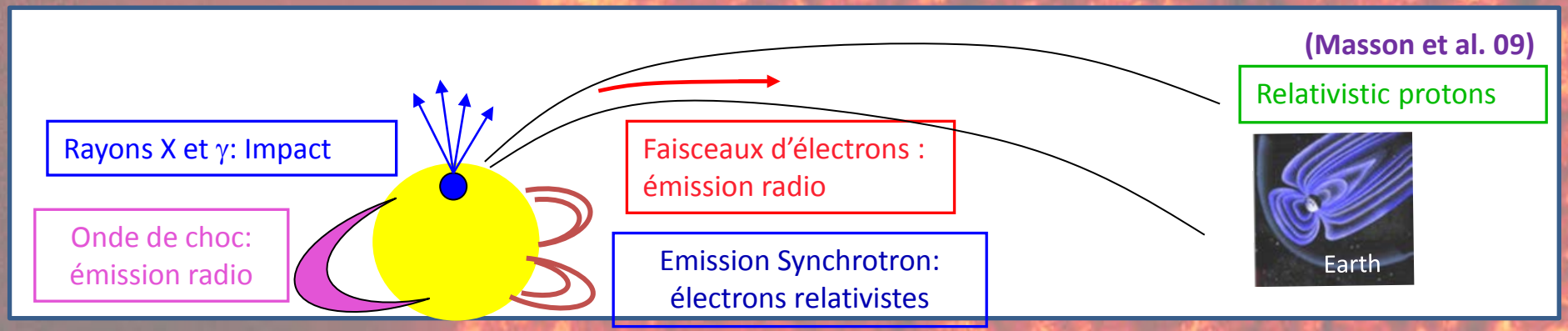
(Roshdalh et al. 10)

Particules énergétiques

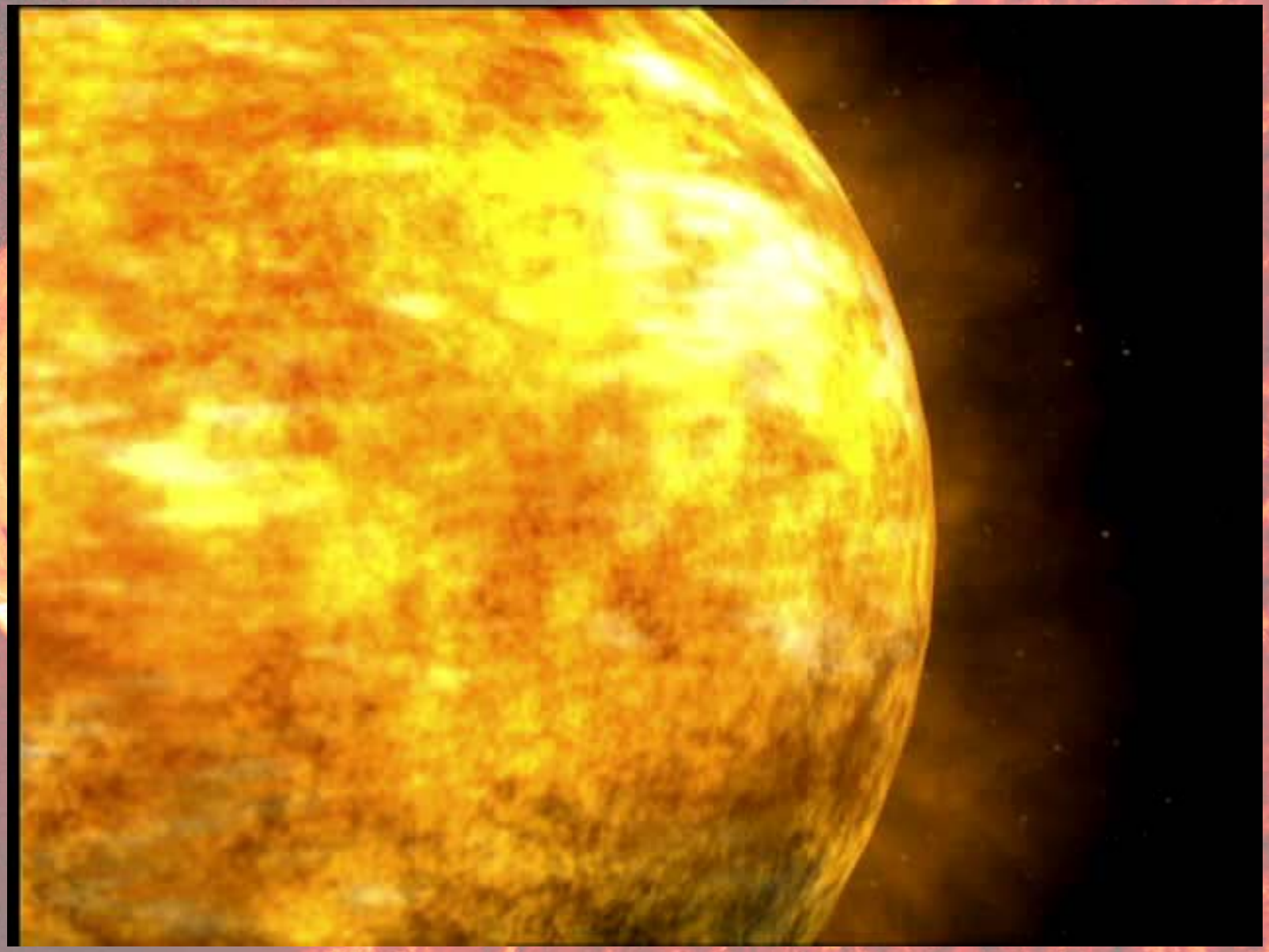
- **Faisceau de particules énergétique se propageant dans l'heliosphere:**
  - Génèrent des émissions radio lors de leur propagation
- Arrivent à la Terre en ~10-15 minutes







Quel est l’impact des éruption sur Terre?



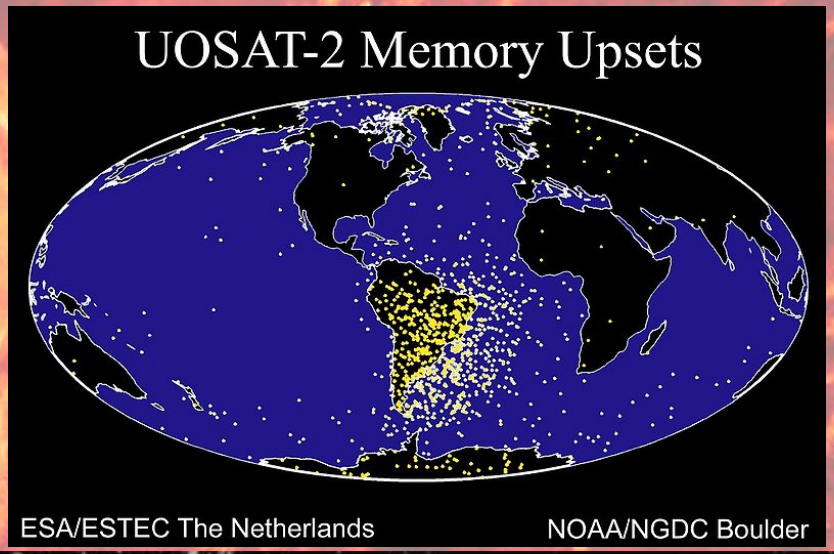
Crédits: NASA SVS

Les conséquences

Crédits: NASA

Les conséquences

- Dommages sur les satellites artificiels
  - Erreurs de fonctionnement
  - Changement d'orbite
- Surtensions électriques
  - Réseau électrique
  - Oléoducs
- Coupure globale de courant électrique
- Perturbations des communications radio, du GPS
- Radiations sur humains
  - Astronautes
  - Personnels naviguants

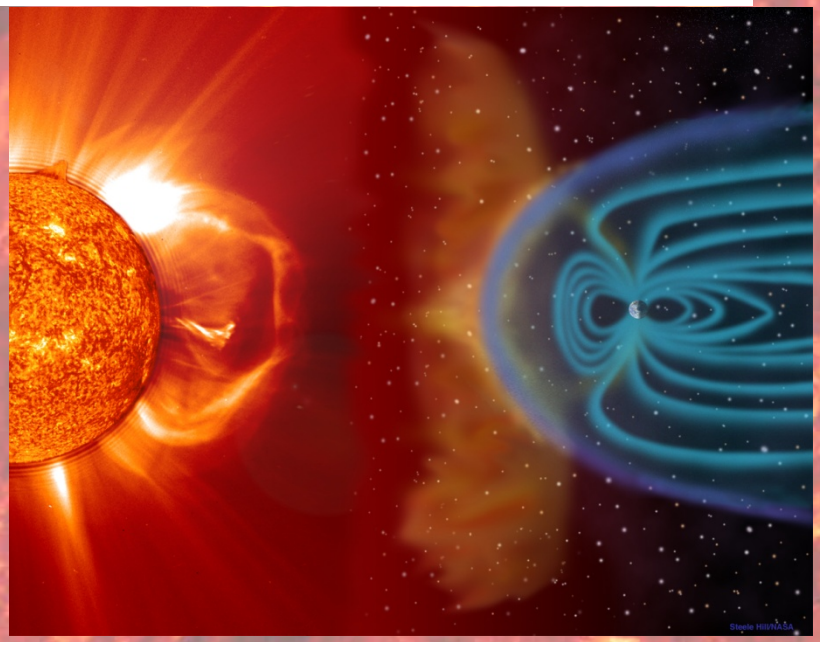


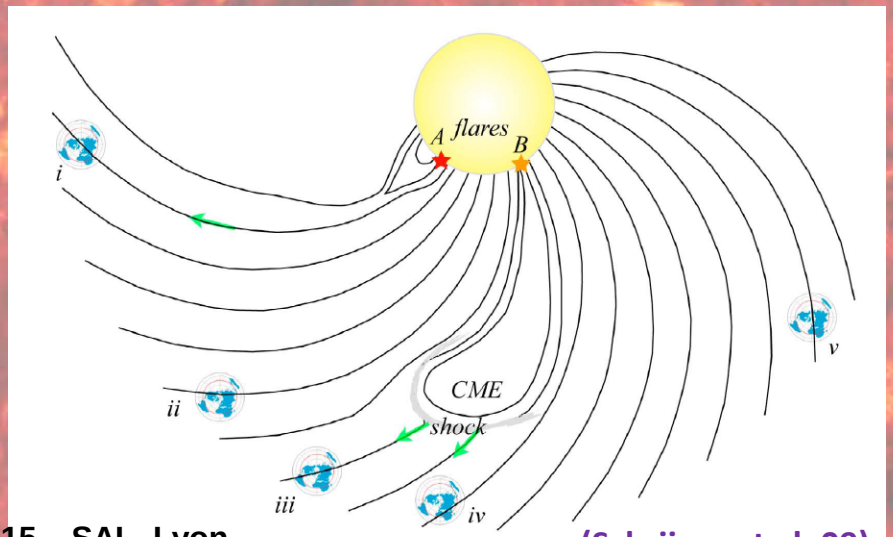
Météorologie de l'Espace

- Quantifier and predire les effets spécifique et cumulatif de l'impact de l'activité solaire sur Terre.

- De plus en plus d'acteurs:
  - NOAA: Space Weather Prediction center
  - NASA: Space Radiation Analyst Group, Space Weather Laboratory
  - UE : ESA Space Situation Awareness program

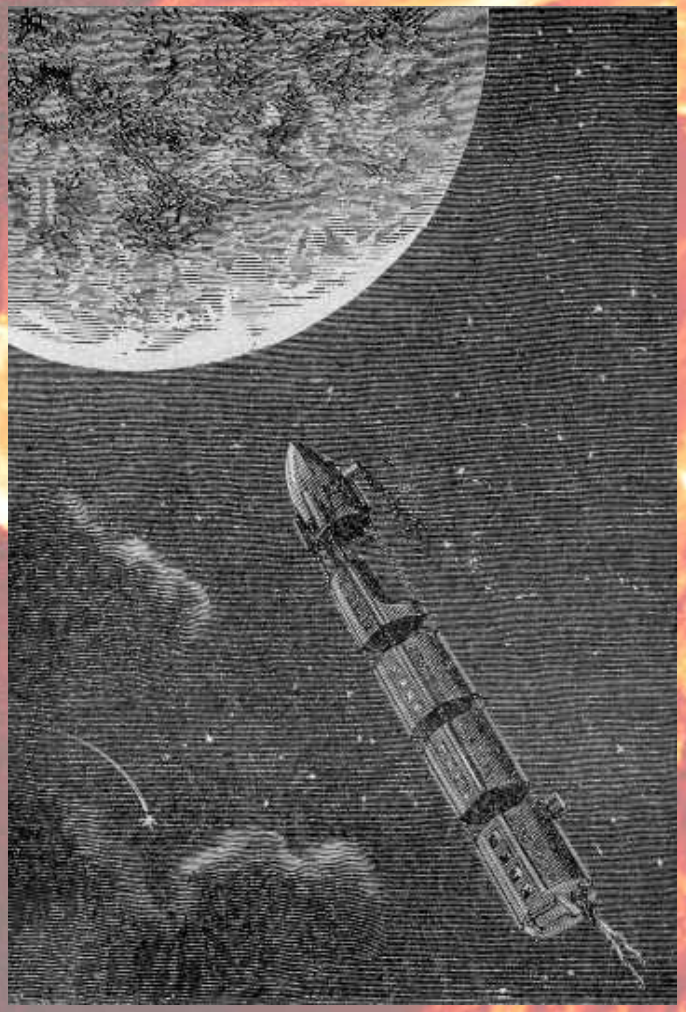
- Questions clefs:
  - Si une éruption à lieu:
    - Va-t'elle impactée la Terrre?
    - Quels seront les dommages?
  - **Une éruption aura-t'elle lieu?**
    - Quand?
    - Où?
    - Quelle seront ses propriétés?

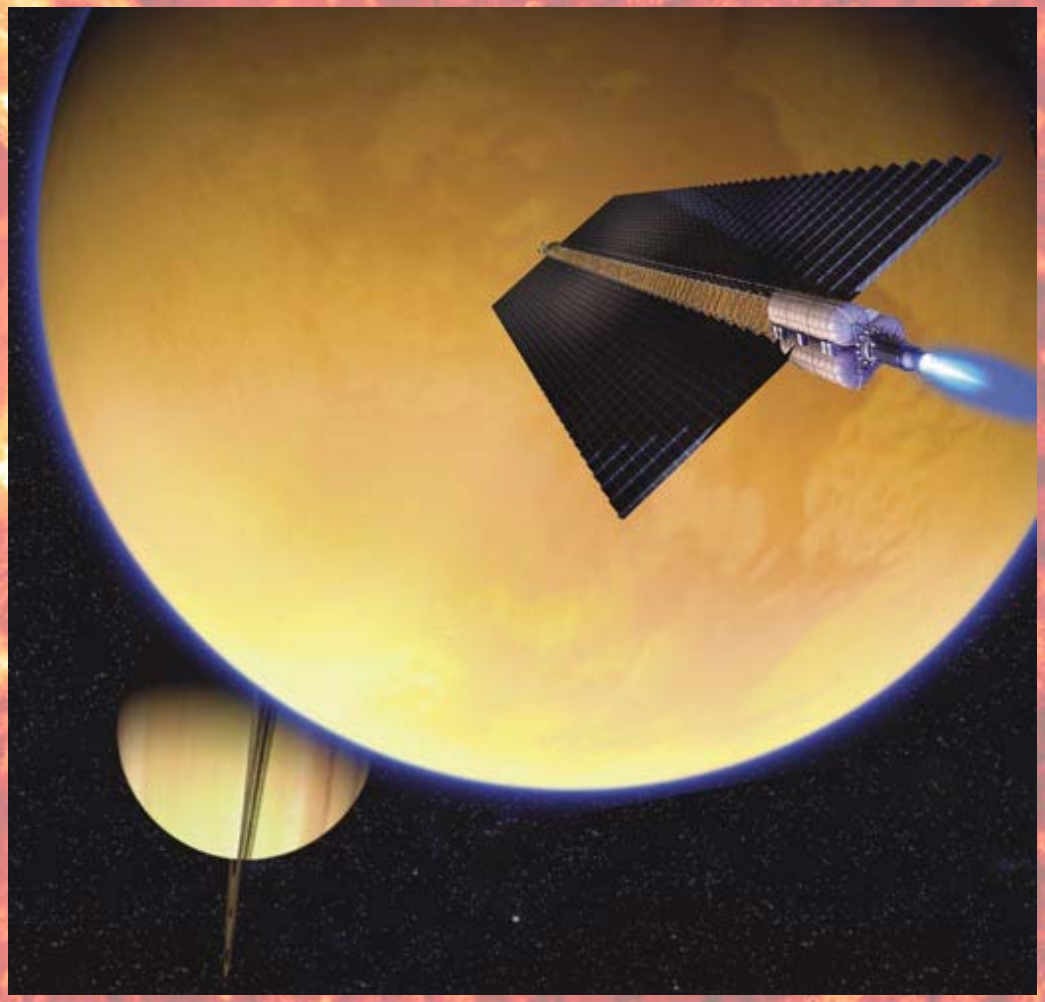




(Schrijver et al. 09)

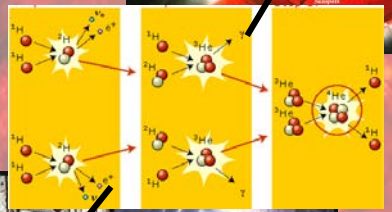
Un peu de fiction scientifique

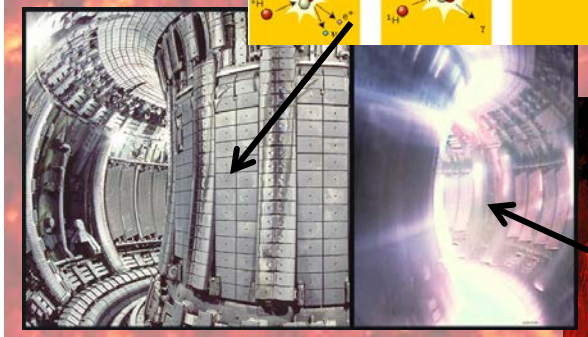


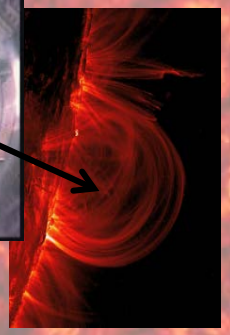


Les intérêts de l'étude du Soleil

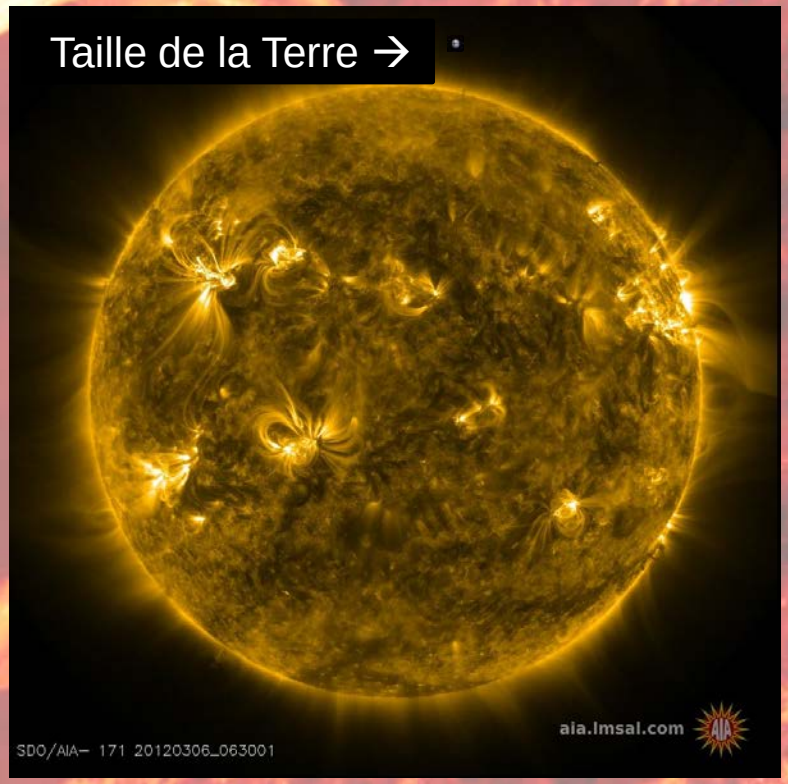
- Prévoir son impact sur l'activité humaine
- Comprendre le climat
- Technologies de l'avenir
  - Soleil : milieu atypique qui ne peut pas (encore !) être reproduit sur terre
    - Fusion nucléaire
    - Confinement magnétique
- Meilleure connaissance de notre Univers
  - Etoile facilement observable





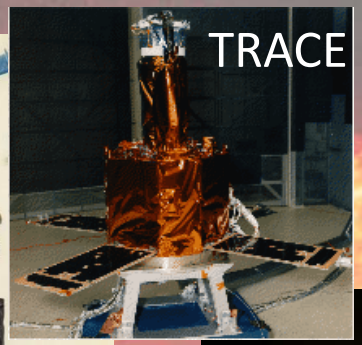


Comment surveiller l’activité solaire?



Crédits: NASA

SoHO

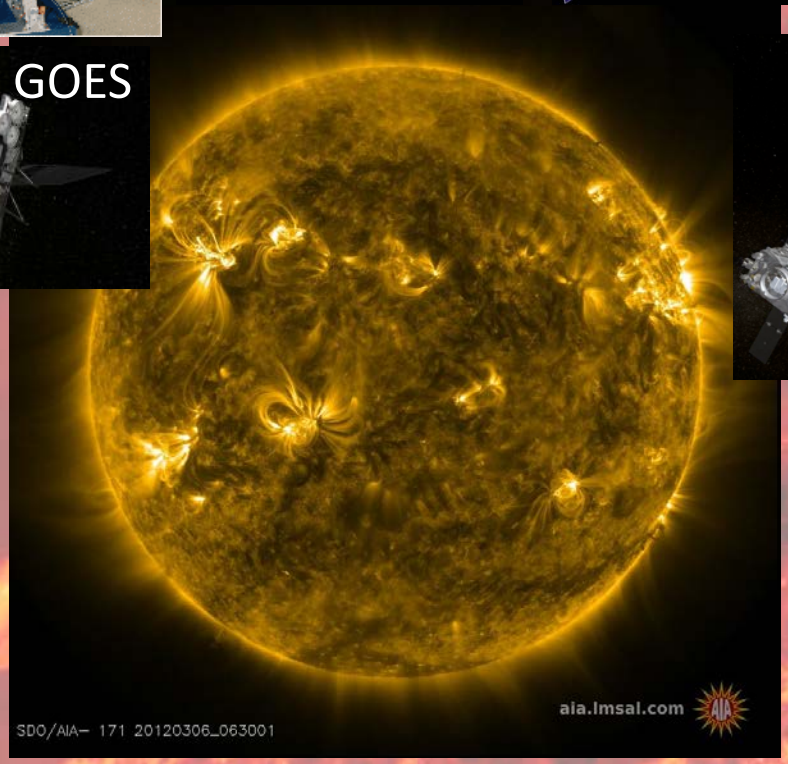

TRACE

RHESSI

Hinode

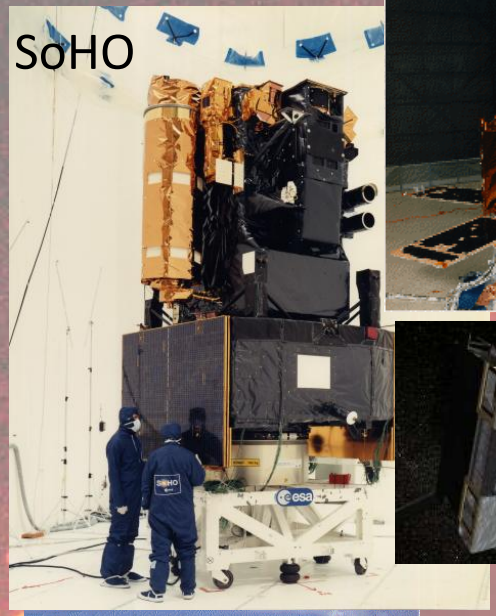
SDO

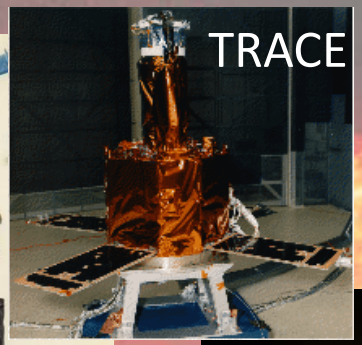
GOES


SDO/AIA– 171 20120306_063001
aia.lmsal.com
AIA

STEREO

PICARD


SoHO

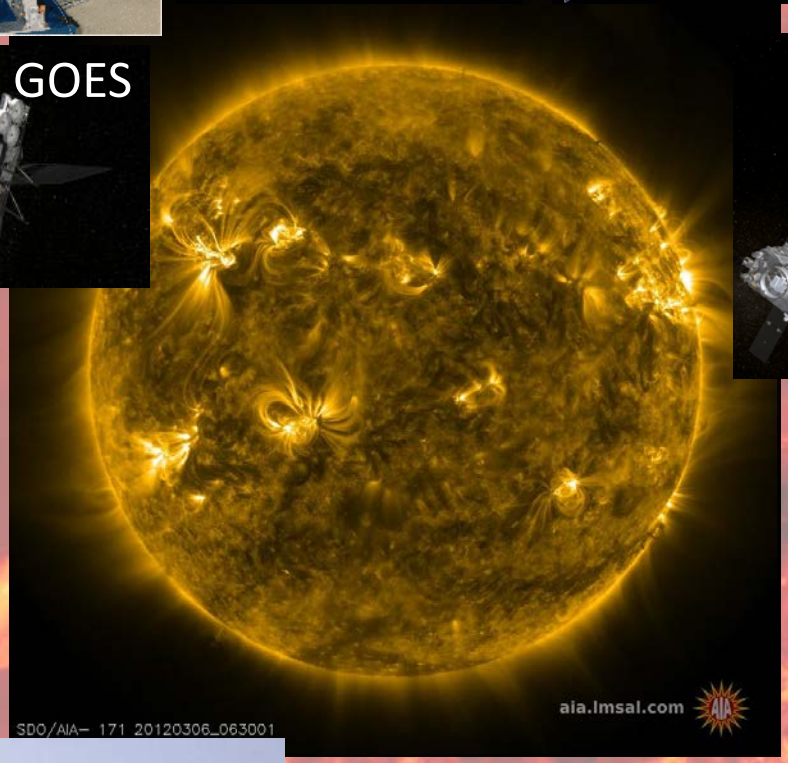

TRACE

RHESSI

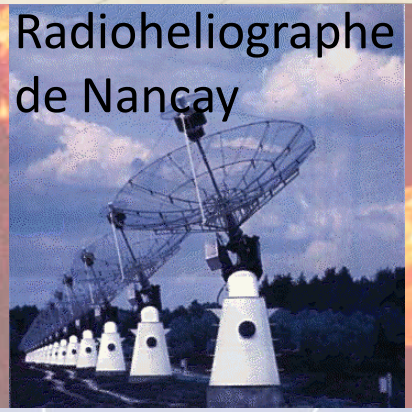
Hinode

SDO

GOES


SDO/AIA– 171 20120306_063001
aia.lmsal.com
AIA

STEREO


Radioheliographe
de Nancay

PICARD

Observatoire de
Meudon

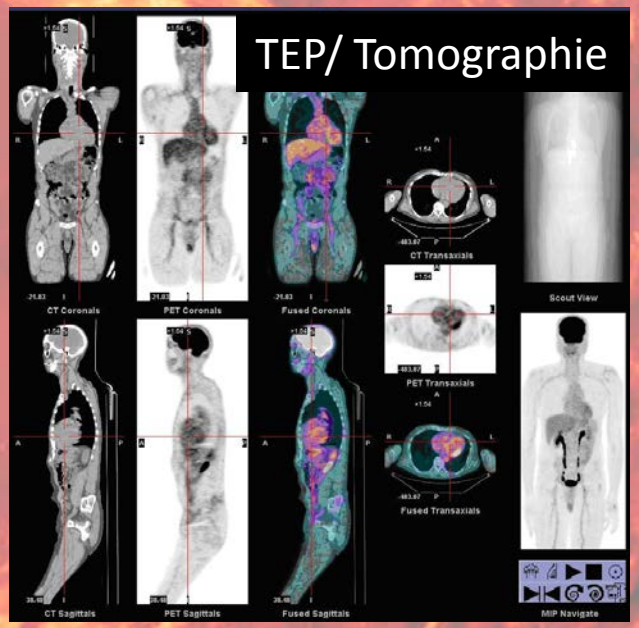
Observatoire
du pic du midi

THEMIS
(Canaries)

Pourquoi autant d'instruments ? Surveillance temporelle la plus complète possible …

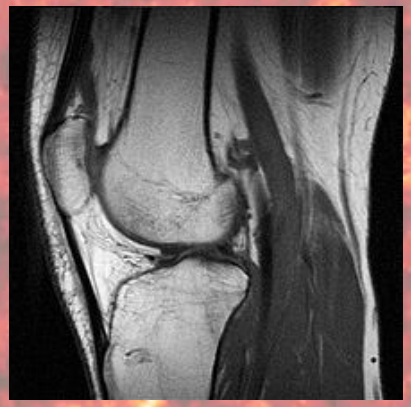
Obtenir un diagnostic complet ….

Scintigraphie γ



Radiographie X

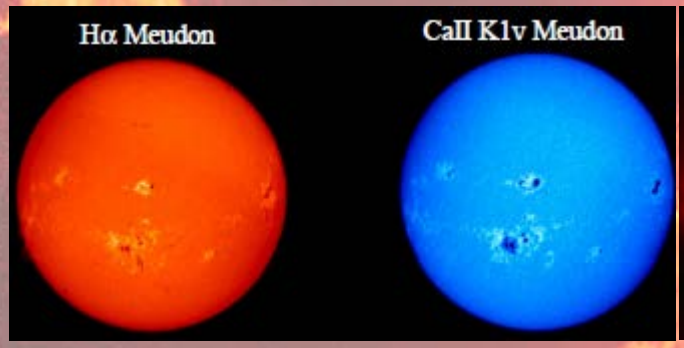
Scanographie

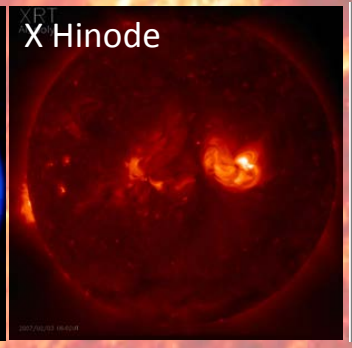


IRM

… sans “toucher’’ l’objet d’étude

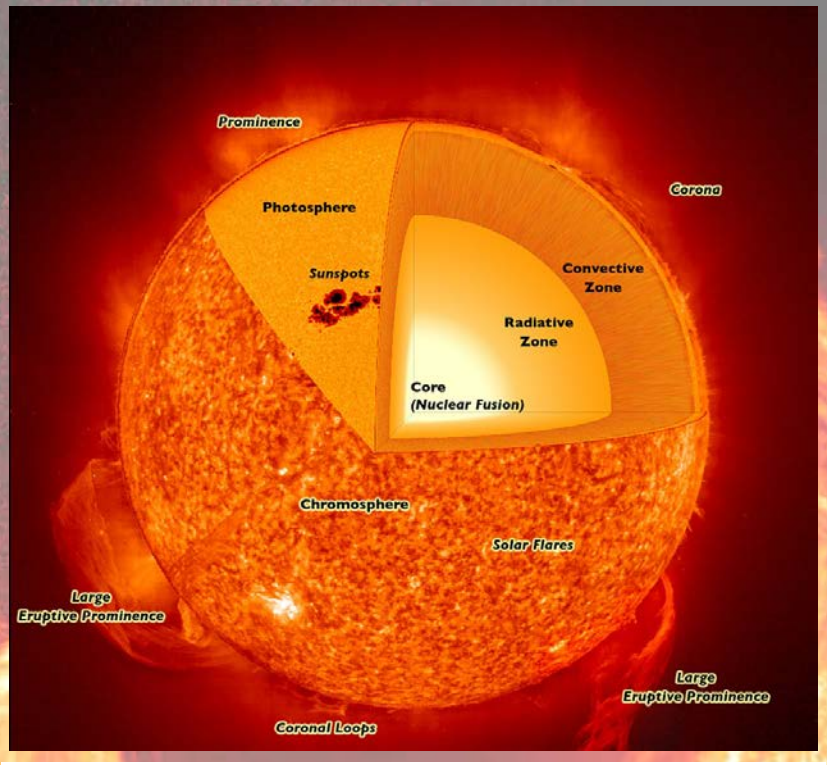
Obtenir un diagnostic complet ….



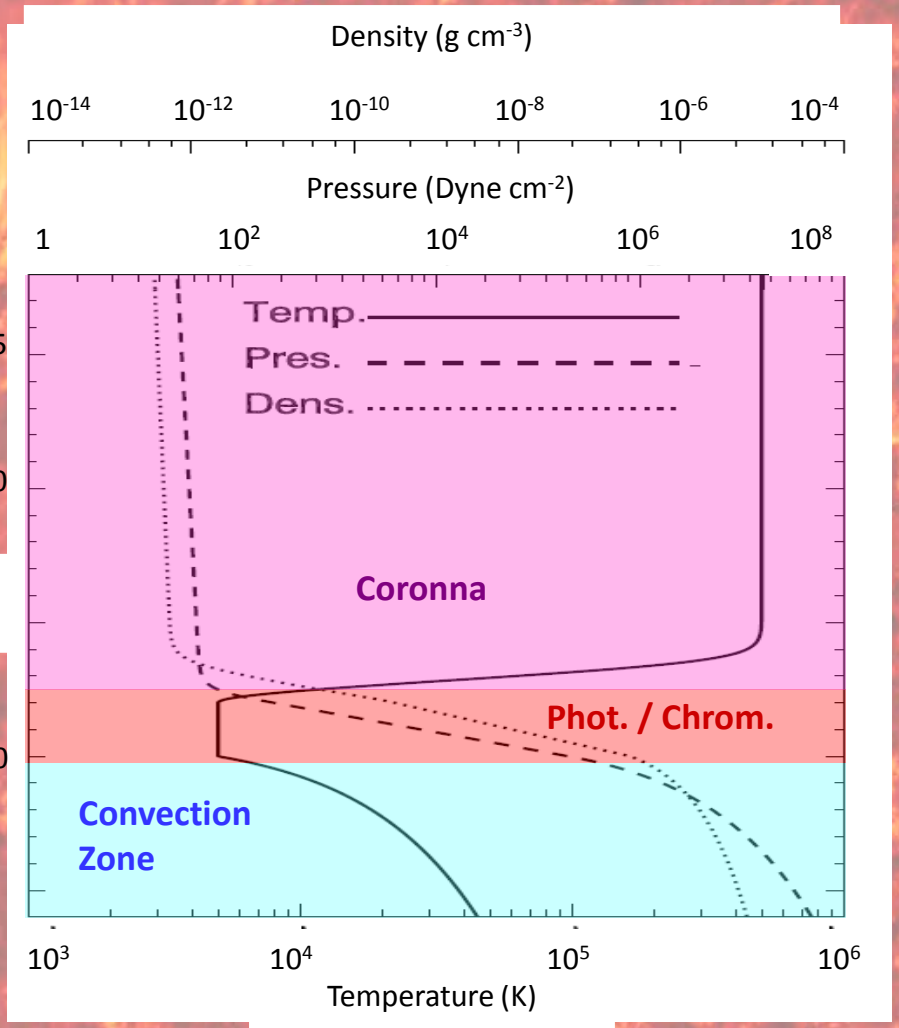


… sans “toucher’’ l’objet d’étude

L'atmosphere Solaire



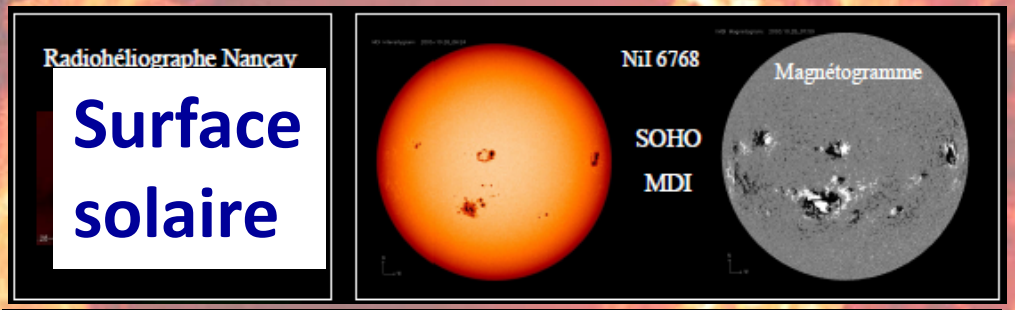
	T (K)	n (m^{-3})	P (Pa)
Intérieur ($z \approx -10$ Mm)	7×10^4	6×10^{26}	7×10^8
Photosphère ($z = 0$)	5800	9×10^{22}	7×10^3
Chromosphère ($z = 2$ Mm)	10^4	5×10^{16}	2×10^{-2}
Couronne ($z \approx 50$ Mm)	2×10^6	2×10^{14}	2×10^{-3}
Atmo. Terre	300	10^{25}	10^5



- **Couronne Solaire = milieu très chaud et très ténu**

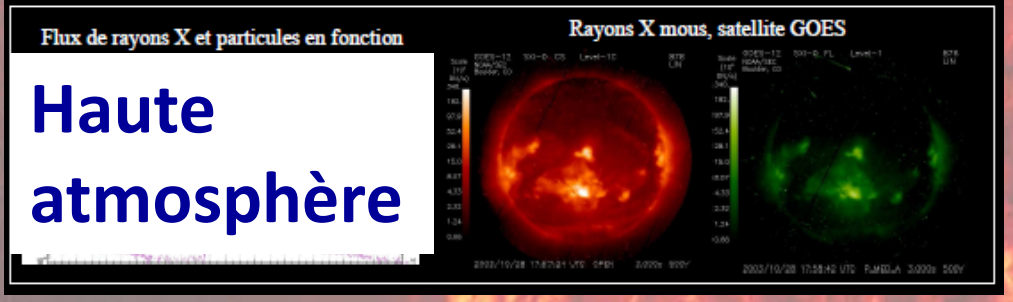
Les observations solaires

“une fréquence lumineuse = une température = une couche de l’atmosphère”

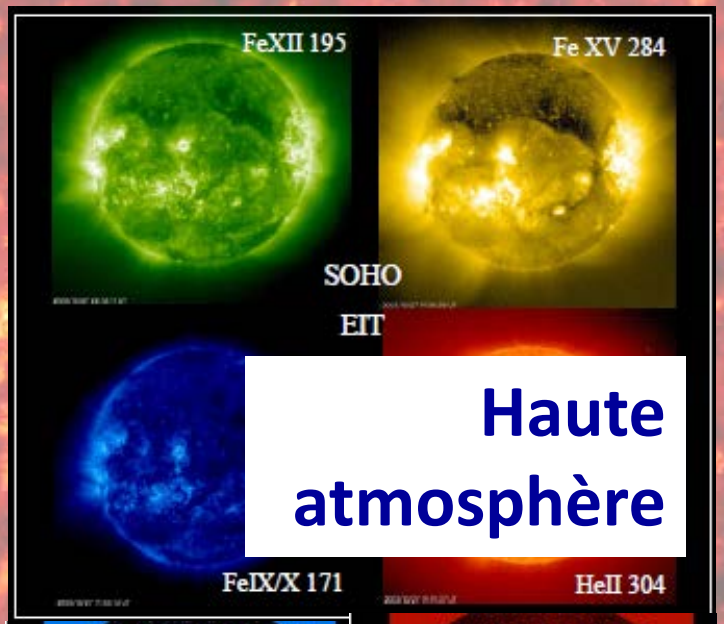


Surface solaire

Basse atmosphère



Haute atmosphère



Haute atmosphère

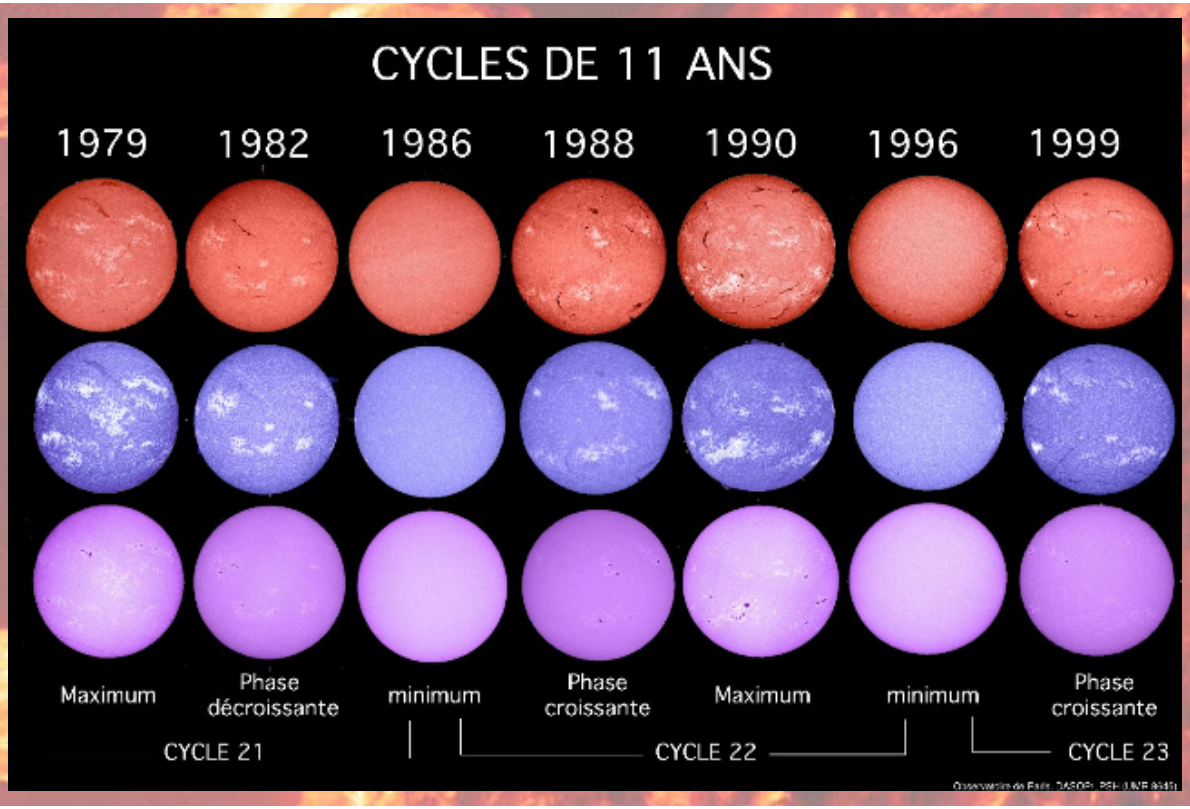
Espace proche

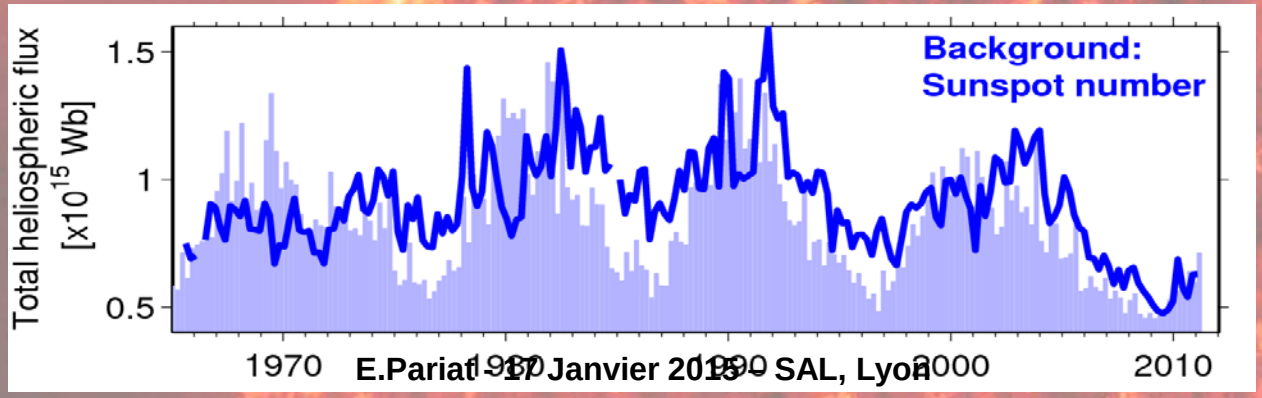
Solar Dynamic Observatory

- SDO: Satellites NASA lancé en 2010
- **100 millionièmes images: 19 Jan 15 17h49 07s UT!**
- Accès données: JHelioviewer

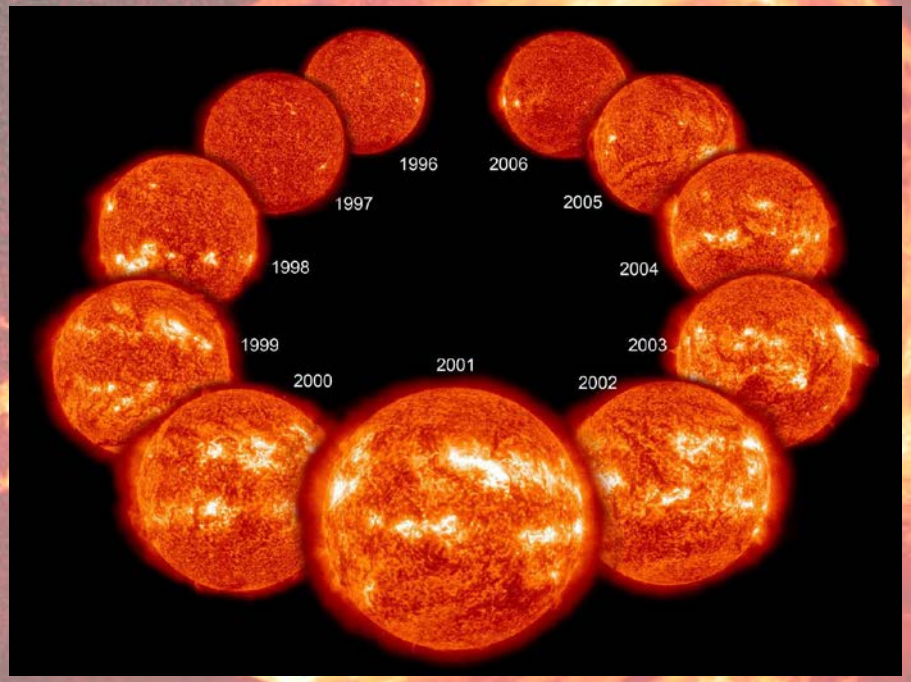
Comment se déclenchent les éruptions ?

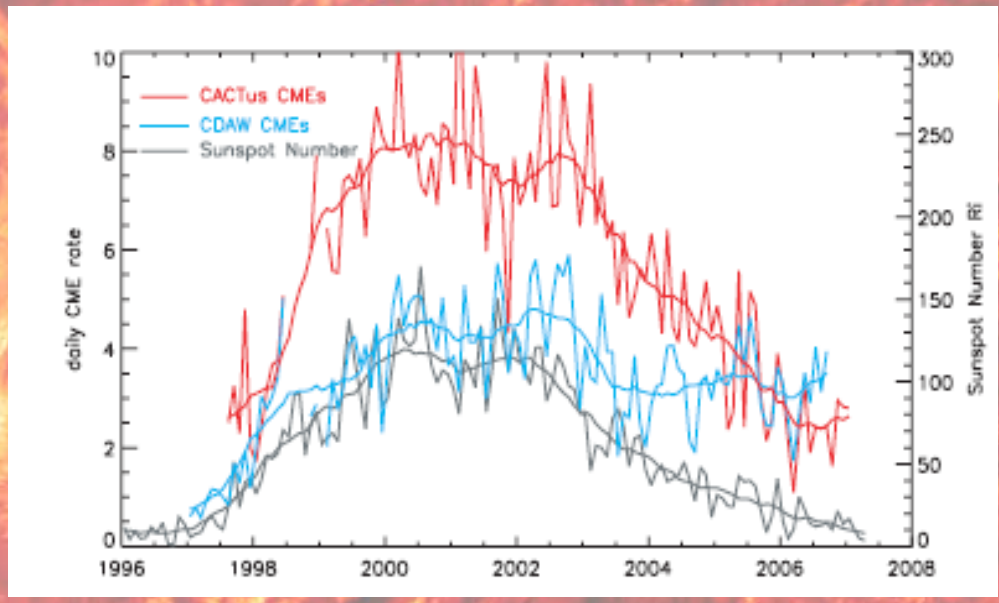
Le cycle de 11 ans de l'activité solaire





Le cycle solaire

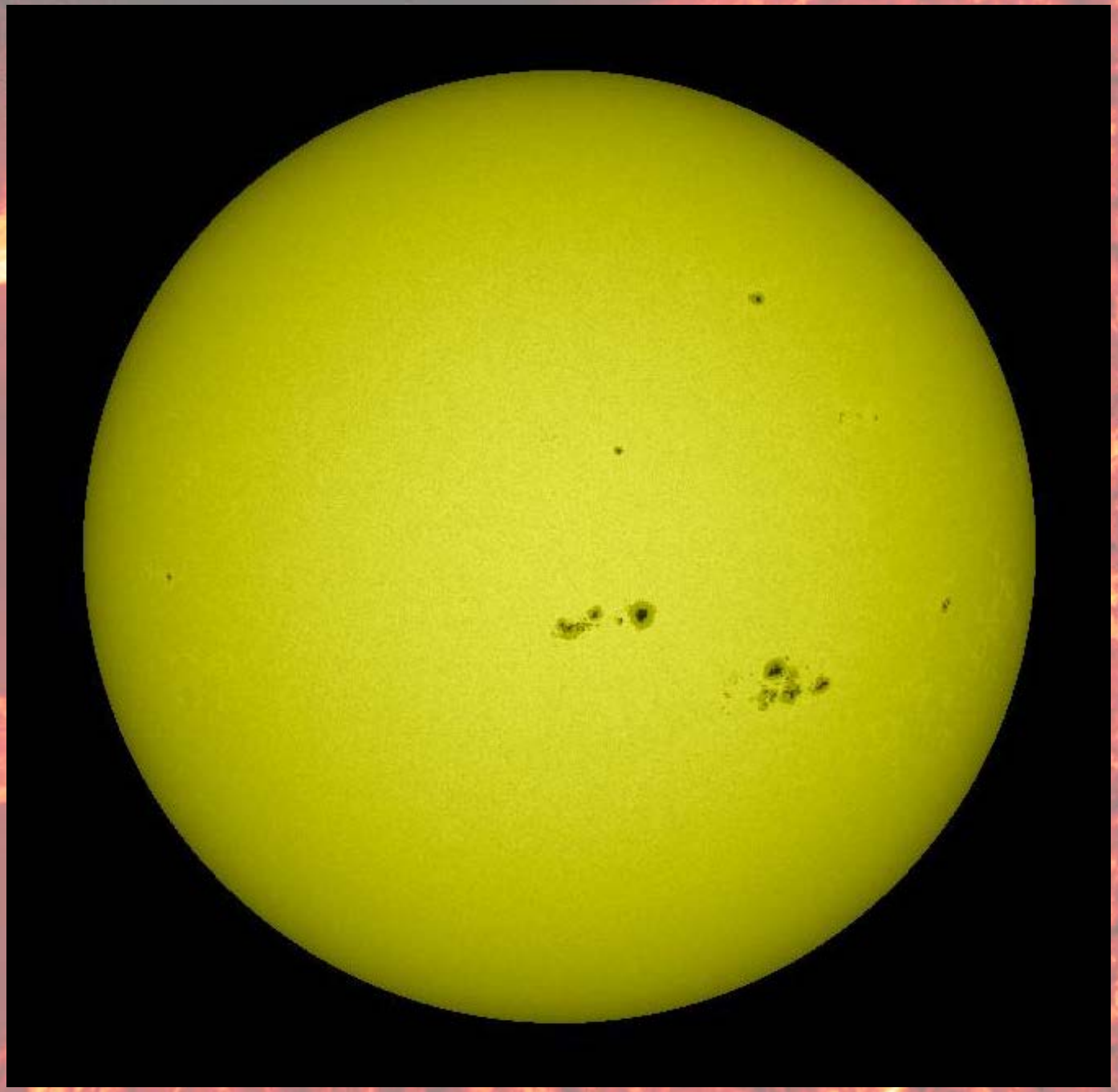




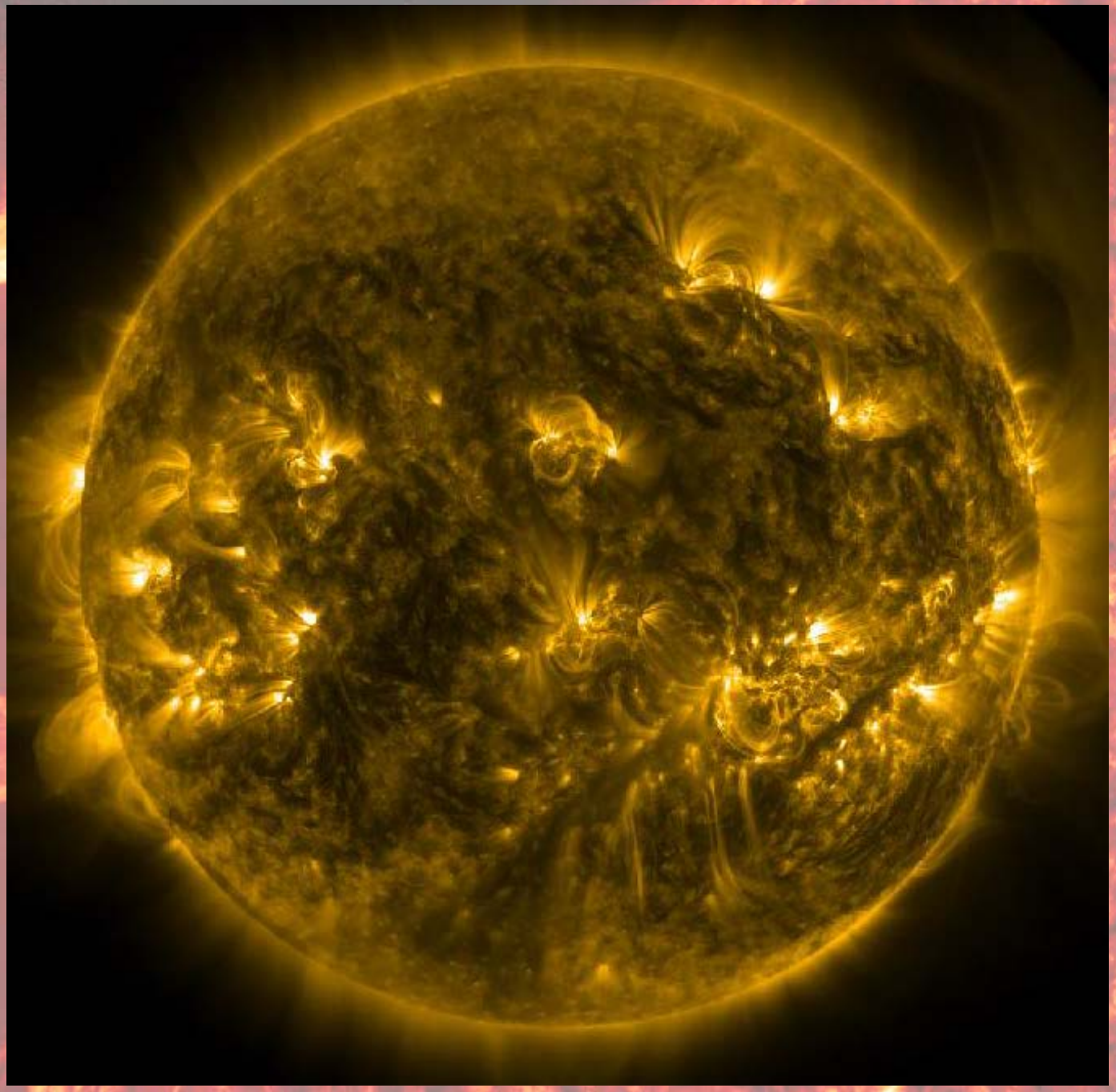
- Minimum
  - Peu de taches solaires
  - Peu d'éruptions

- Maximum
  - Nombreuses taches à la surface solaire
  - ~5 CMEs/jour

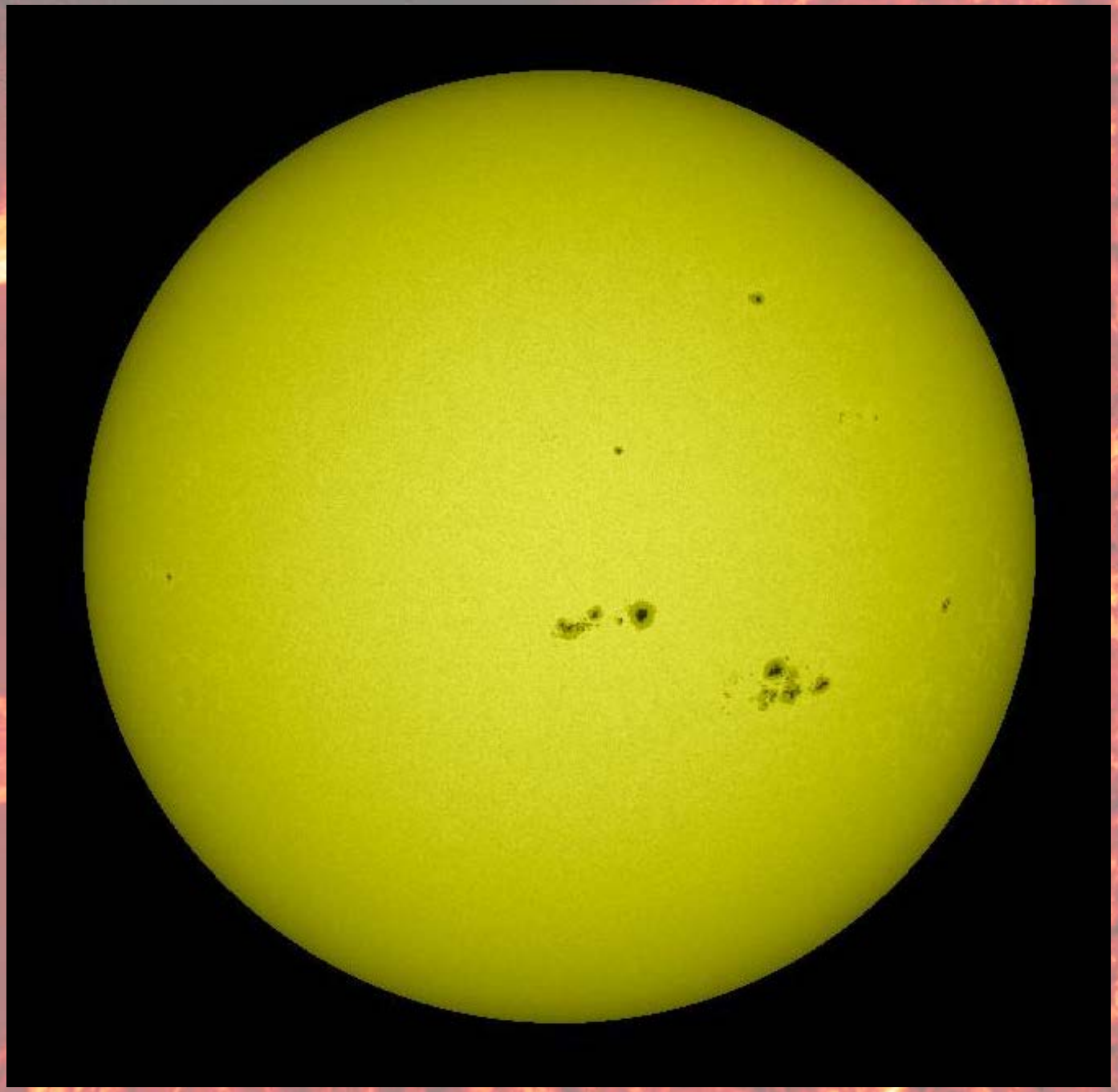
Les taches solaires



Les taches solaires

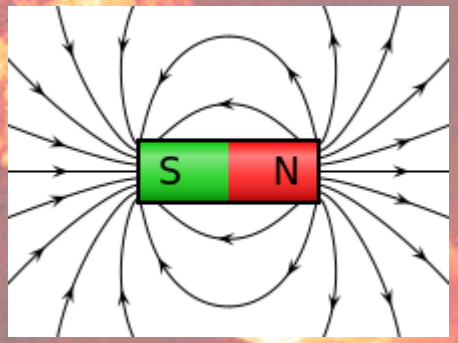


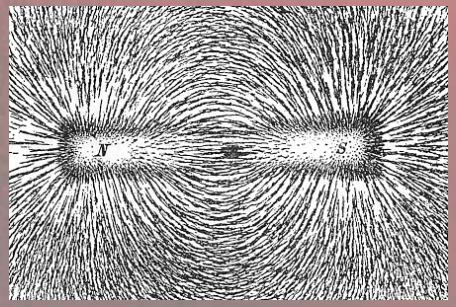
Les taches solaires

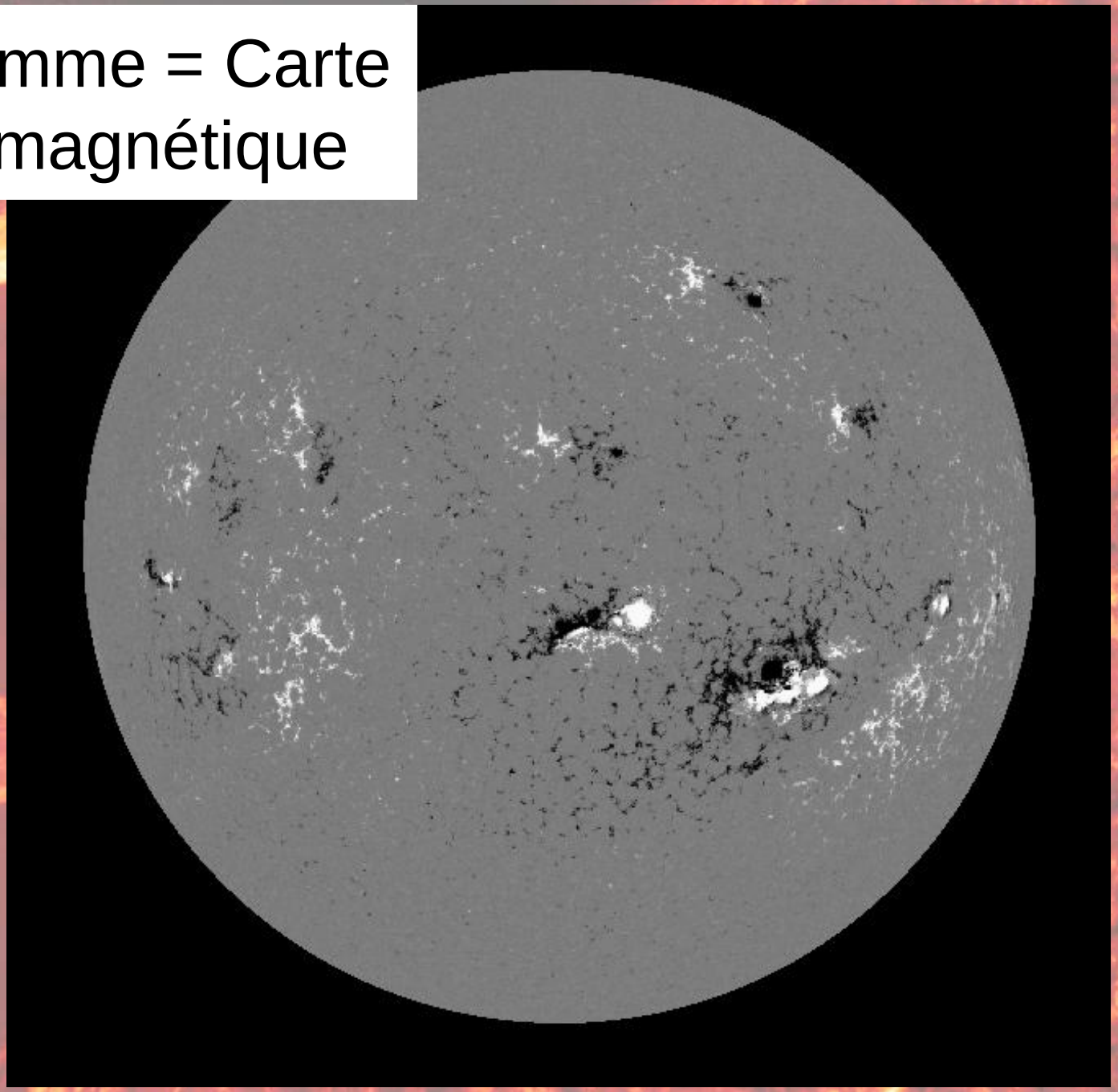


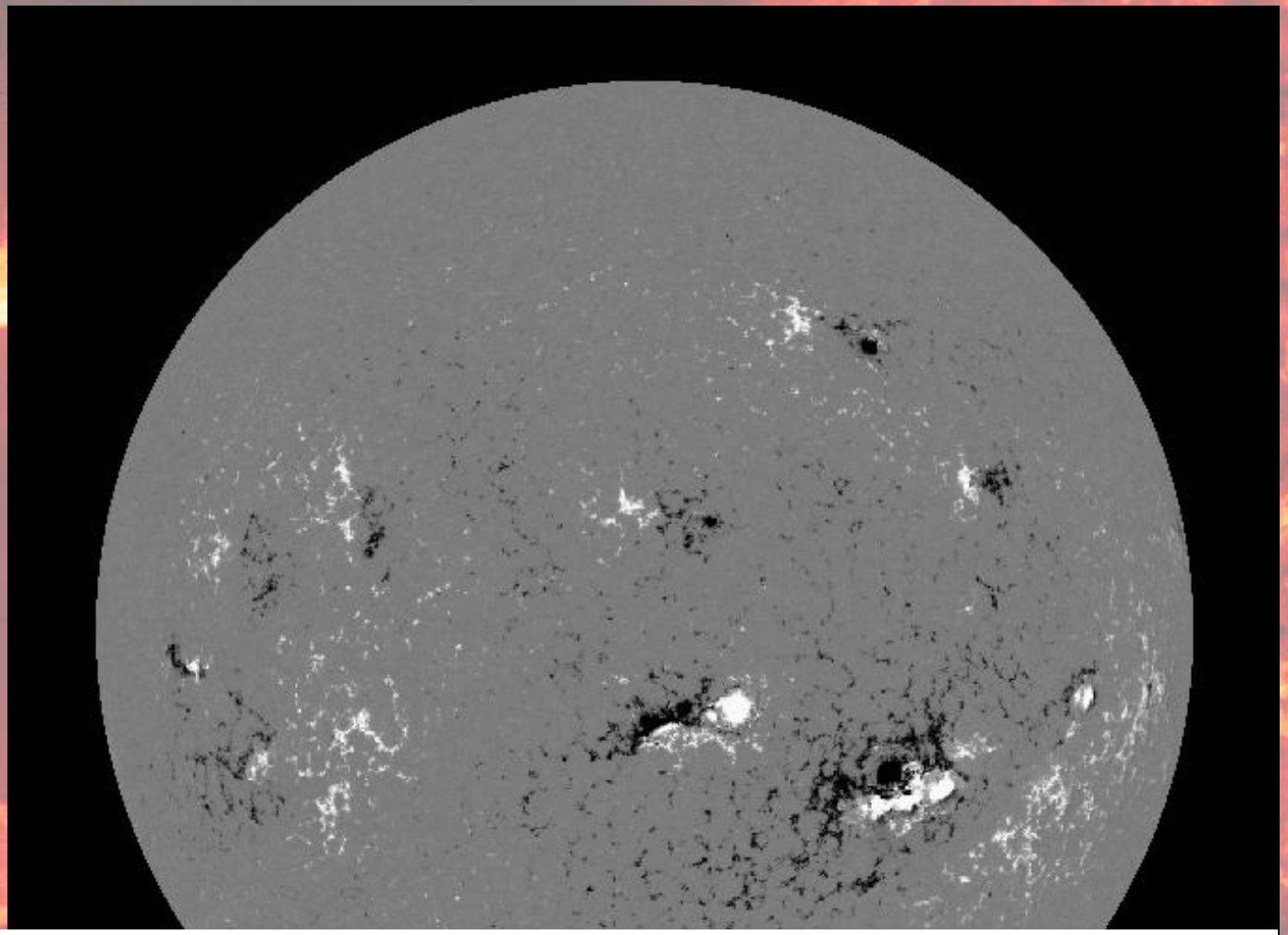
Magnétogramme = Carte du champ magnétique

- **Blanc: pôle Sud / positif**
- **Noir : pôle Nord négatif**





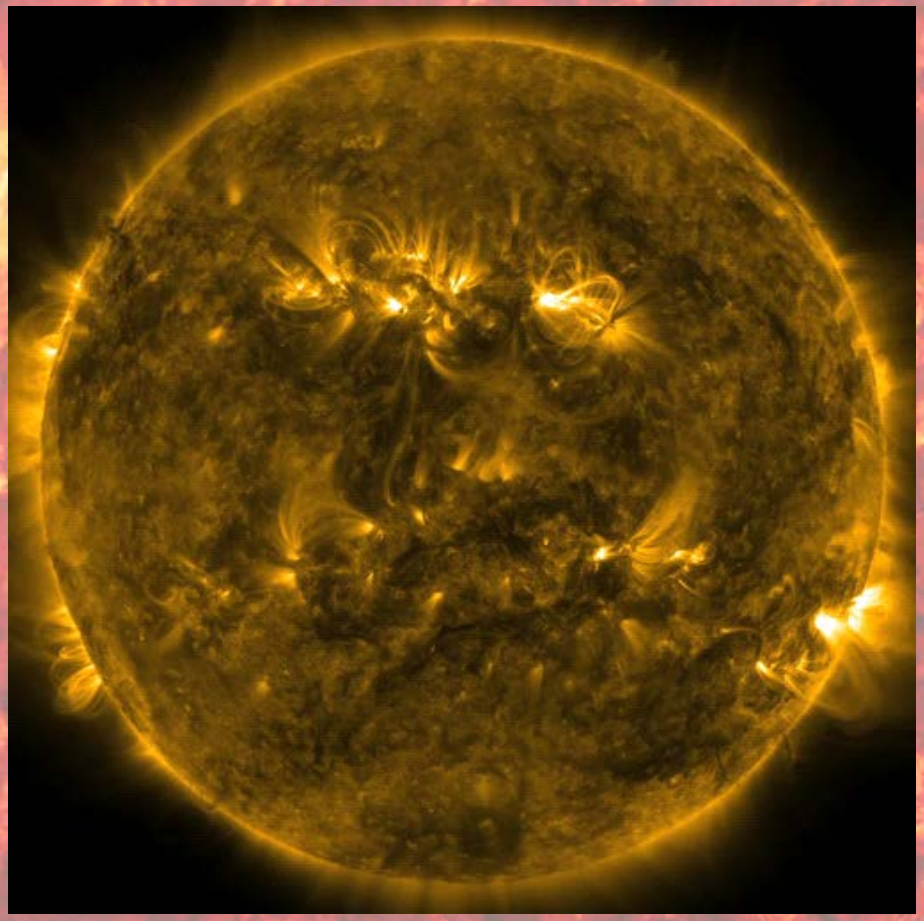




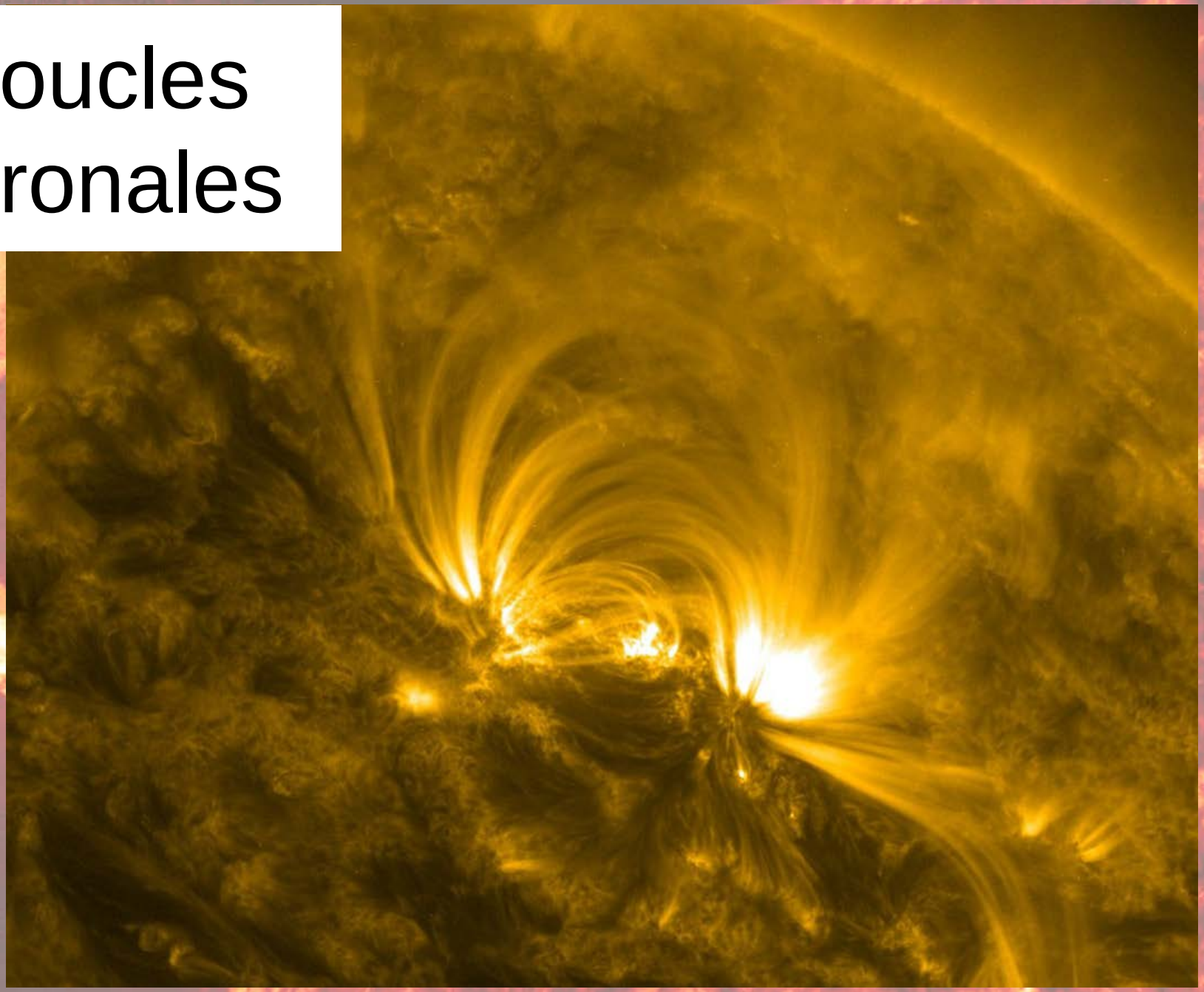
- **Les taches solaires correspondent à des concentrations de champ magnétique**
  - Hale 1908
  - Toujours au moins 2 taches de polarité magnétique opposé

Le champ magnétique solaire

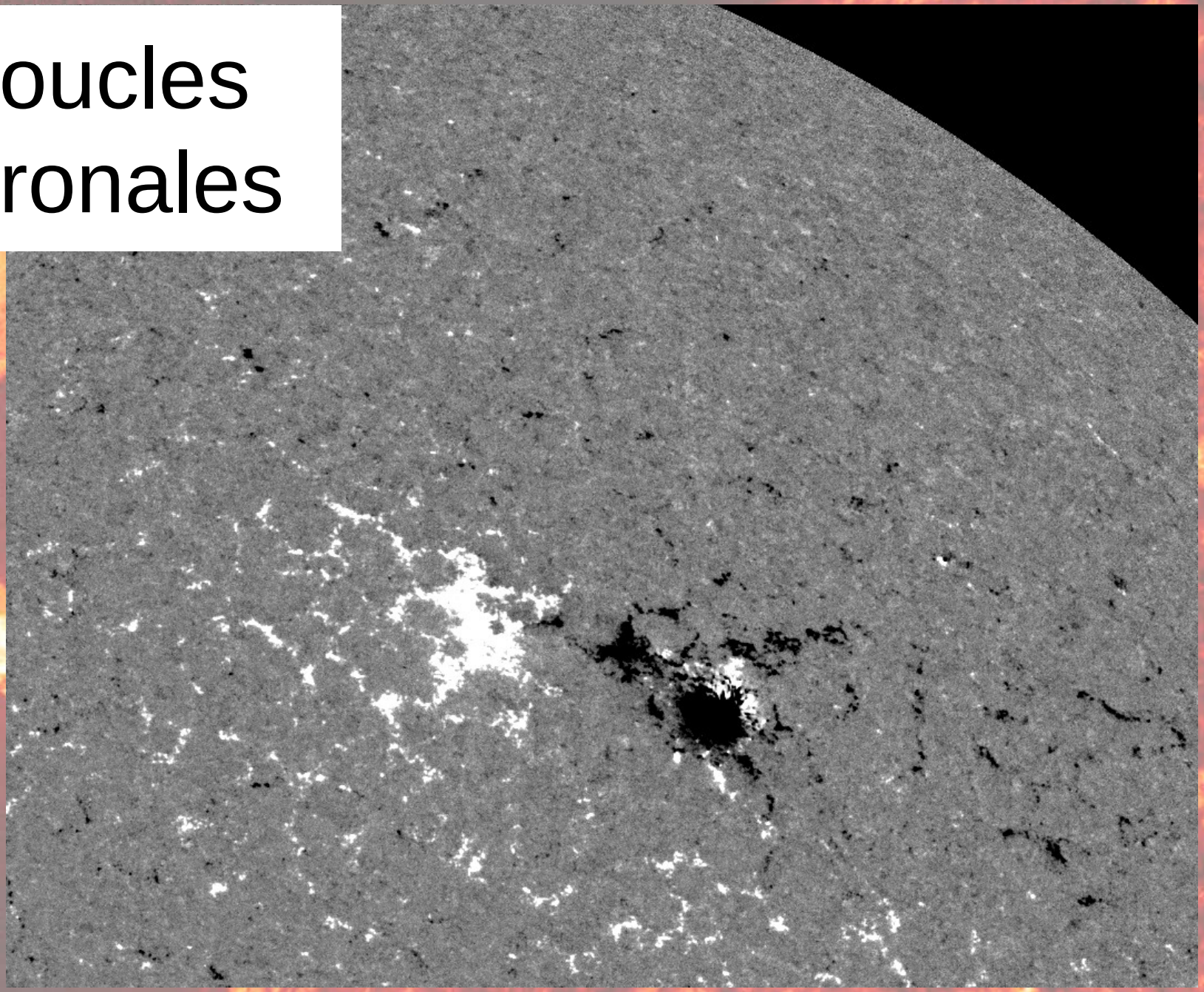
- **Régions actives = concentration magnétique intense.**
  - Intensité champ magnétique centre tâches solaires ~ 0.1T
    - Champ mag. Terre: 5×10^{-5} T
    - Aimant frigo: 0.01 T
    - Instrument RMN: qqs 10 T
  - Taille région active: 10^{8} m
  - **Flux Magnétique: 10^{15} Wb!!!**
    - Aimant Frigo: 10^{-5} Wb
    - Champ mag. Terre: 10^{10} Wb



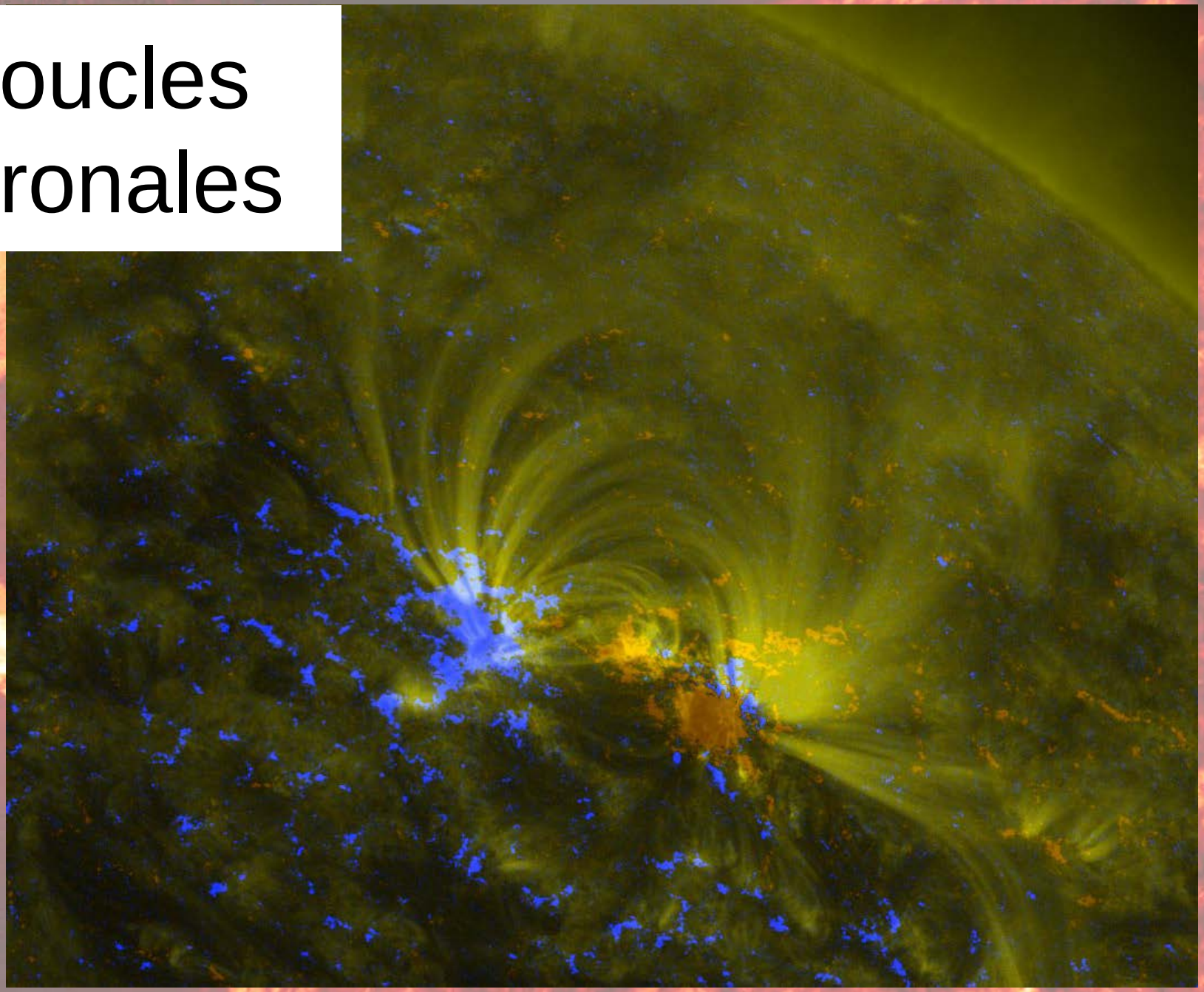
Boucles coronales



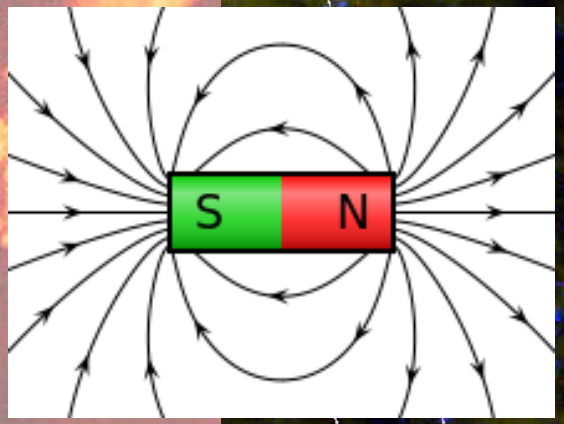
Boucles coronales

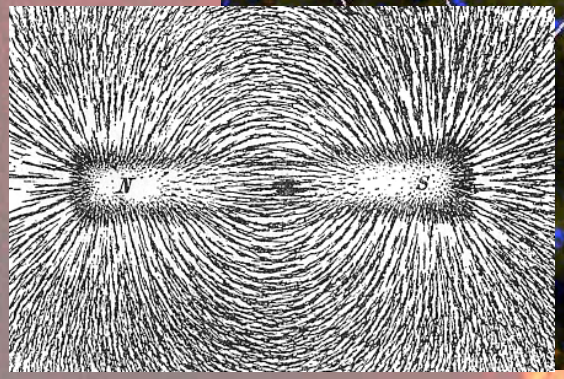


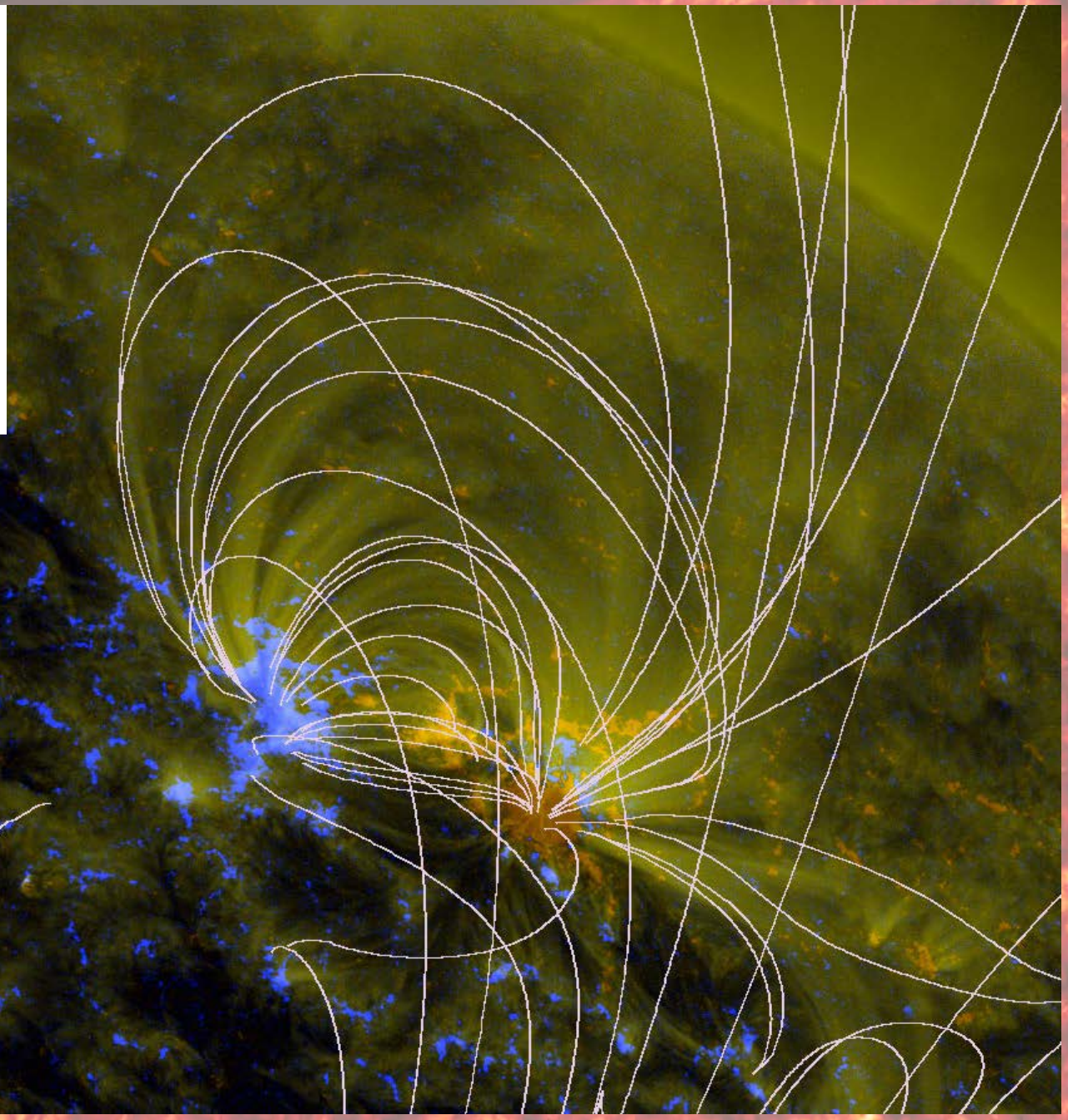
Boucles coronales



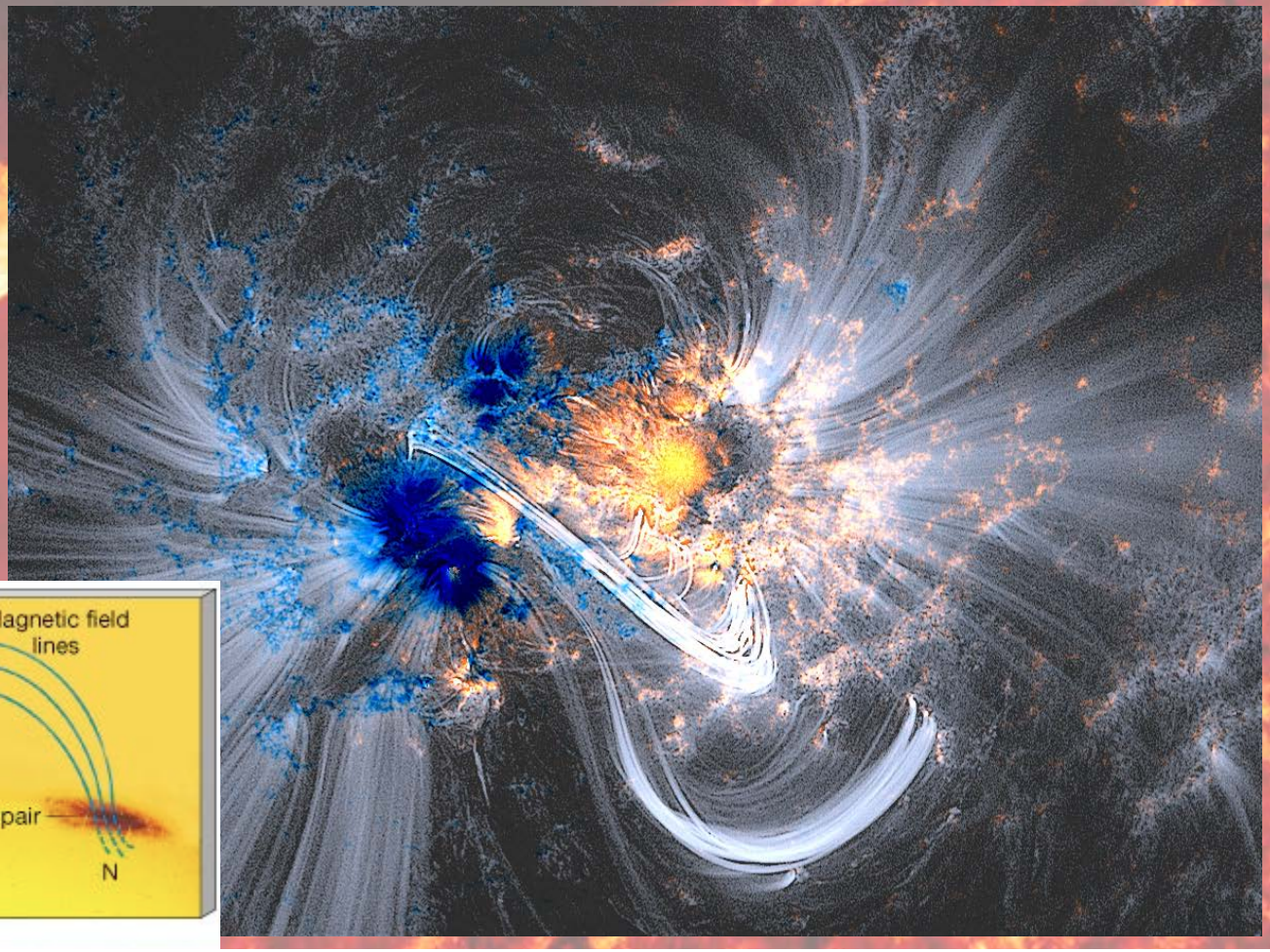
Boucles coronales = lignes de champ magnétique

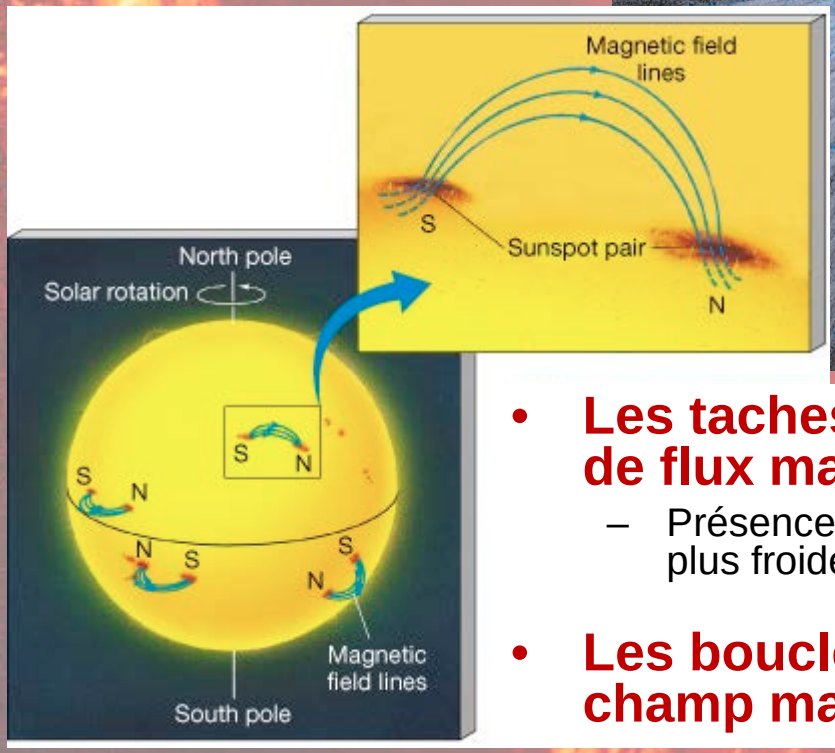






Structure magnétique des régions actives

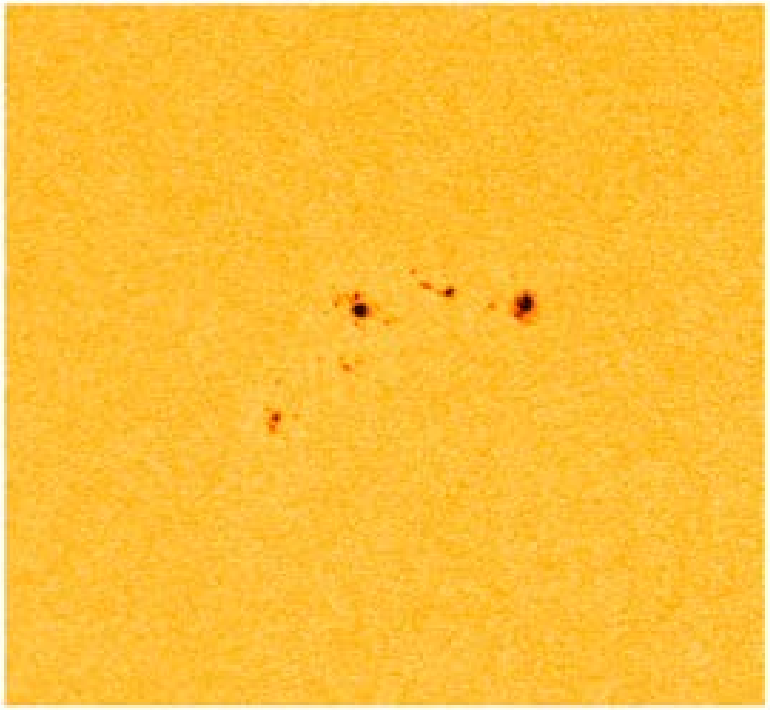


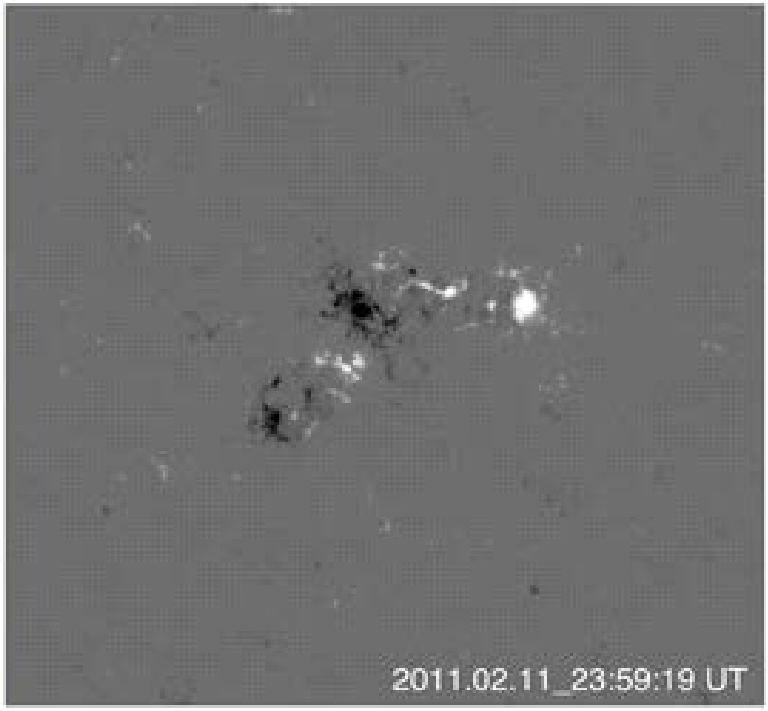


- **Les taches solaires sont à l'intersection de « tubes de flux magnétiques » avec la surface solaire**
  - Présence de champ mag. ➔ réduit la conduction de chaleur ➔ zone plus froide ➔ émettent moins de lumière ➔ apparaissent sombre
- **Les bouclent coronales marquent les lignes de champ magnétiques**

Accumulation de l'énergie

- **L'énergie magnétique est la principale source d'énergie des évènements majeurs: $E_{mag} = 10^{27}$ J > $E_{éruption}$**
- Le champ magnétique n'est pas crée dans l'atmosphère
- Champ et énergie magnétique proviennent de l'intérieur solaire et sont apportés via **"l'émergence de flux magnétique"**





Surface solaire (lumière visible) + Champ magnétique

Accumulation de l'énergie

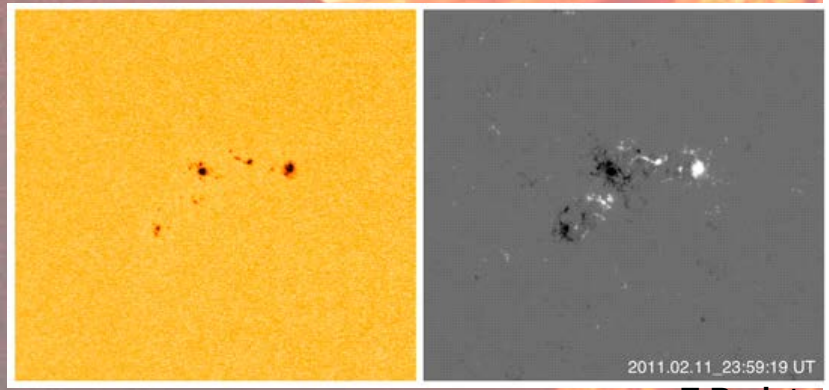
- Champ et énergie magnétique proviennent de l'intérieur solaire et sont apportés via **"l'émergence de flux magnétique"**

Courtesy NASA SVS

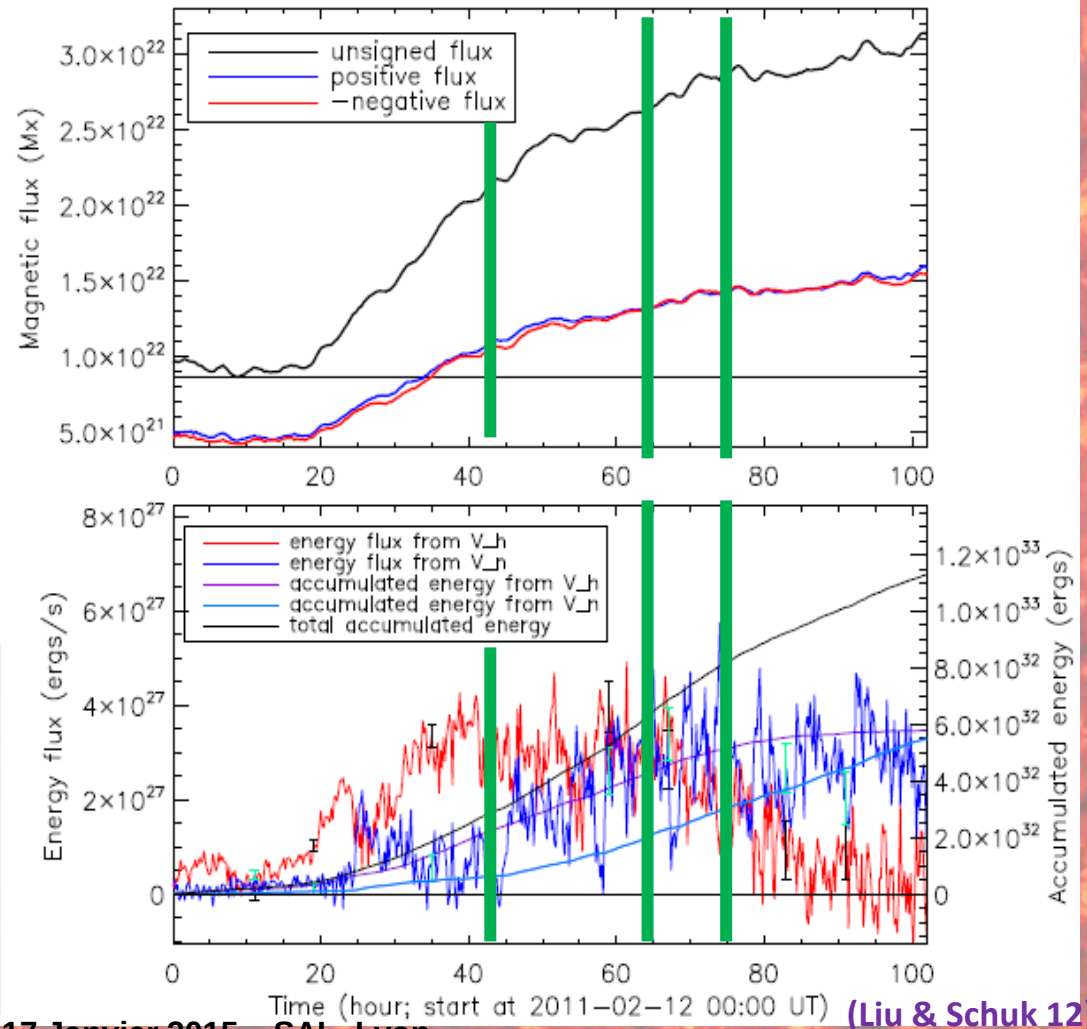
Accumulation de l'énergie

- Avant et durant une éruption solaire il n'y a pas de variation brusque à la surface solaire
  - Mouvements
  - Flux magnétique
  - Energie magnétique

- **➔ Le mécanisme déclenchant l'éruption n'est pas liés aux processus d'accumulation d'énergie**



Eruptions importantes

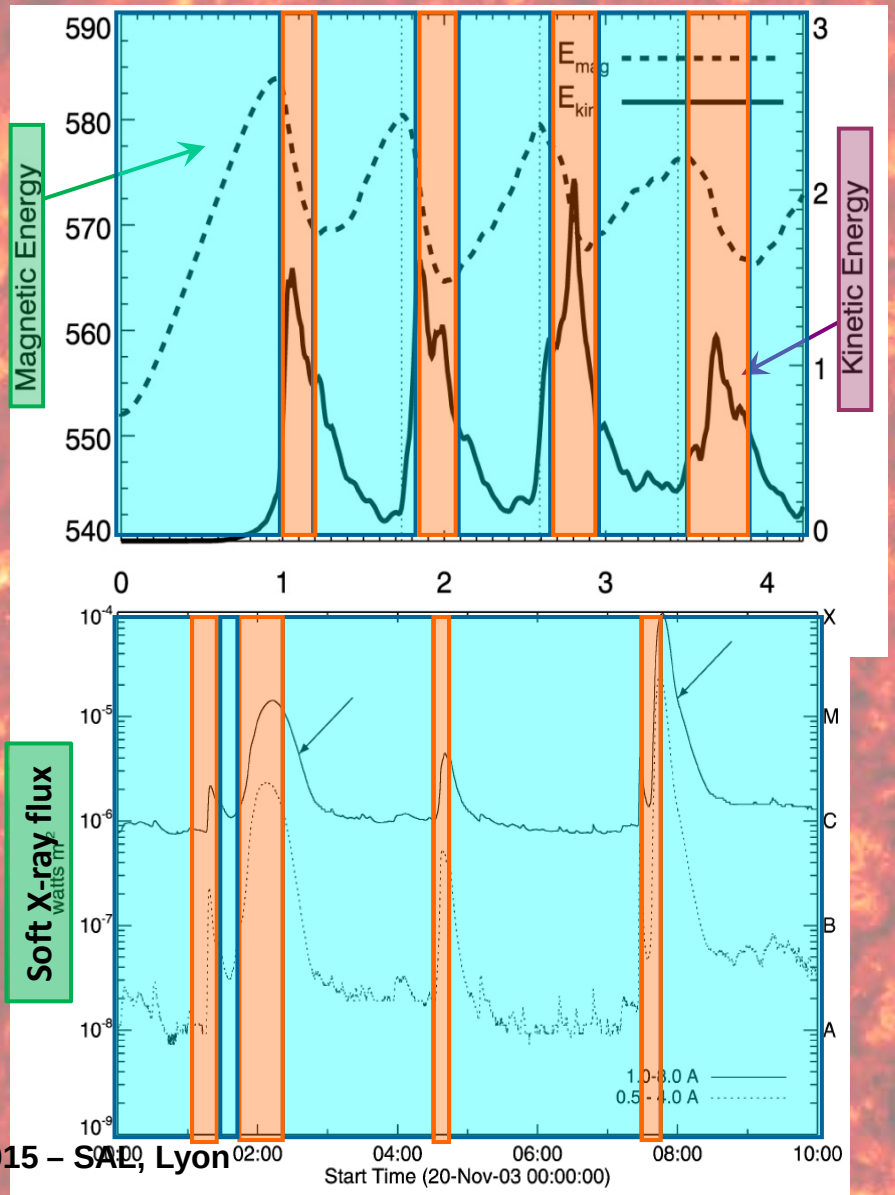


(Liu & Schuk 12)

“Eruptivité”

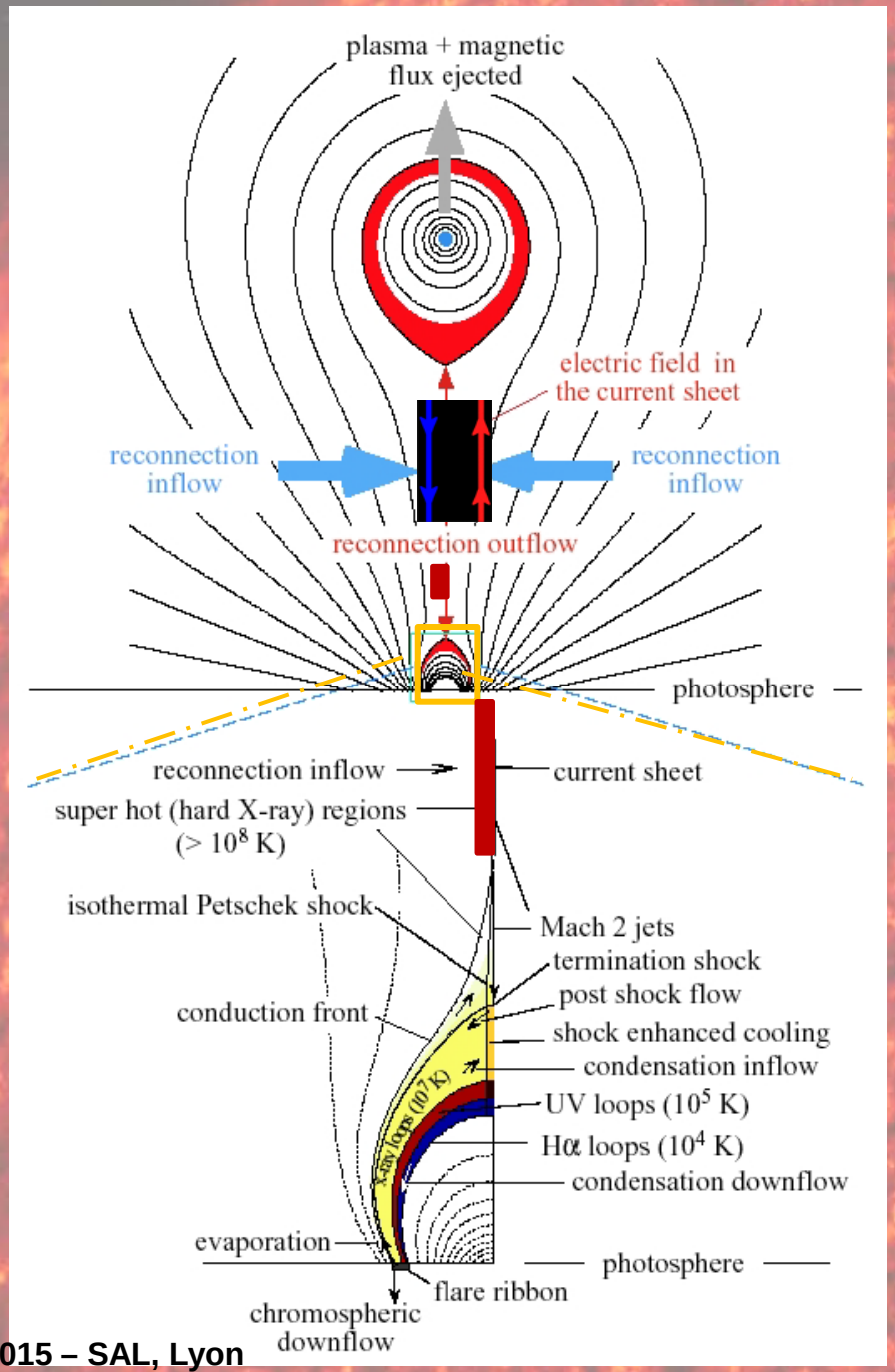
- Les événements actifs sont liés à des phénomènes d’accumulation-libération d’énergie avec:
  - **Accumulation lente:**
    - plusieurs heures à plusieurs jours
  - **Libération soudaine:**
    - en quelques minutes
  - Temps Acc. >> Temps Lib.

- **Observationnellement, nous ne connaissons pas de « précurseurs » aux éruptions.**
  - ➔ Approche théorique



Le modèle standard des éruptions

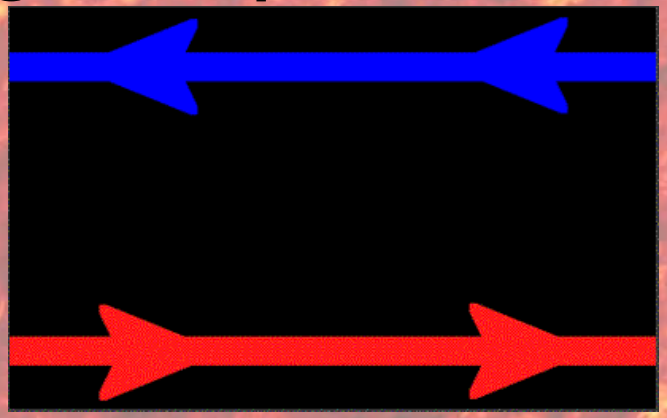
- **Un modèle standard des éruptions solaire a été développé afin d'expliquer une part importante des phénomènes observés lors des éruptions solaires**
  - embrillancements
  - dynamique de la matière
- Capacité prédictive
- Question centrale: comment se déclenchent les éruptions

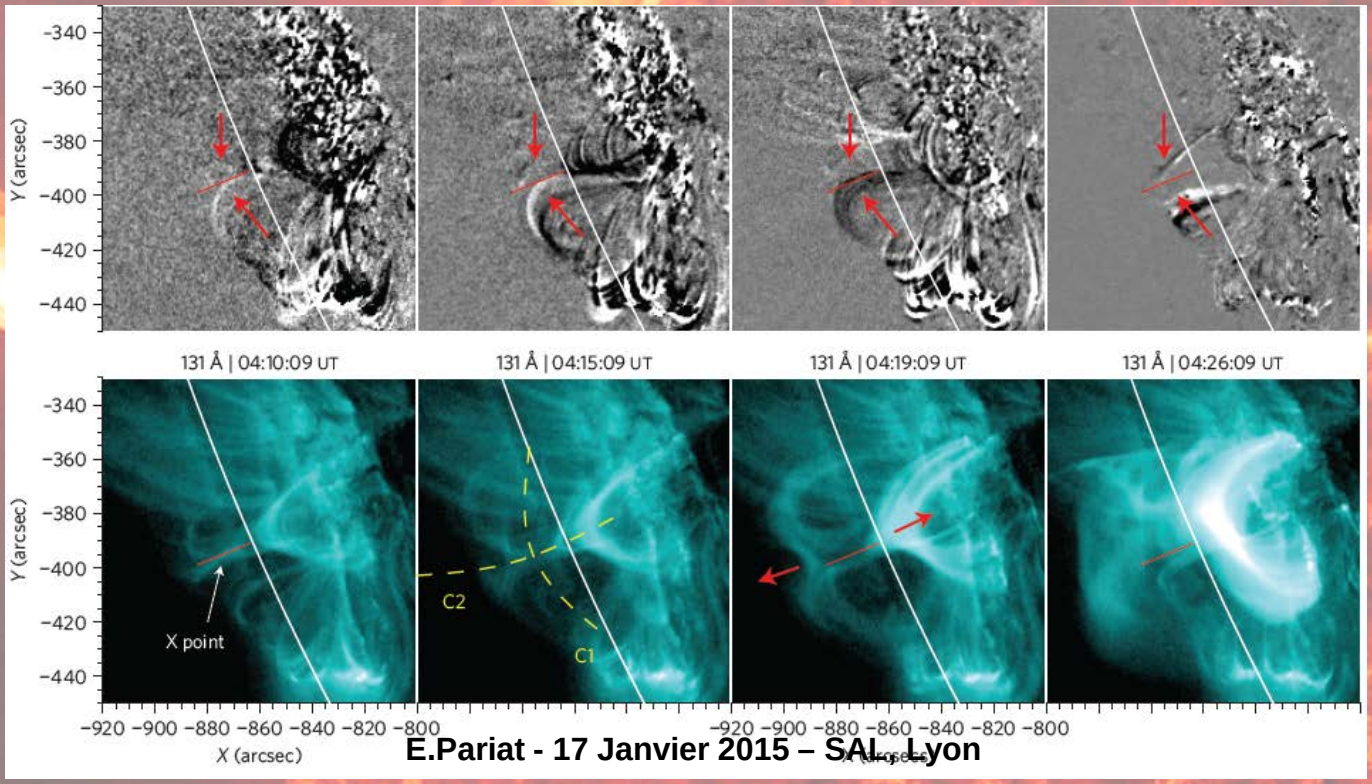


Au cœur des éruptions: la reconnexion magnétique

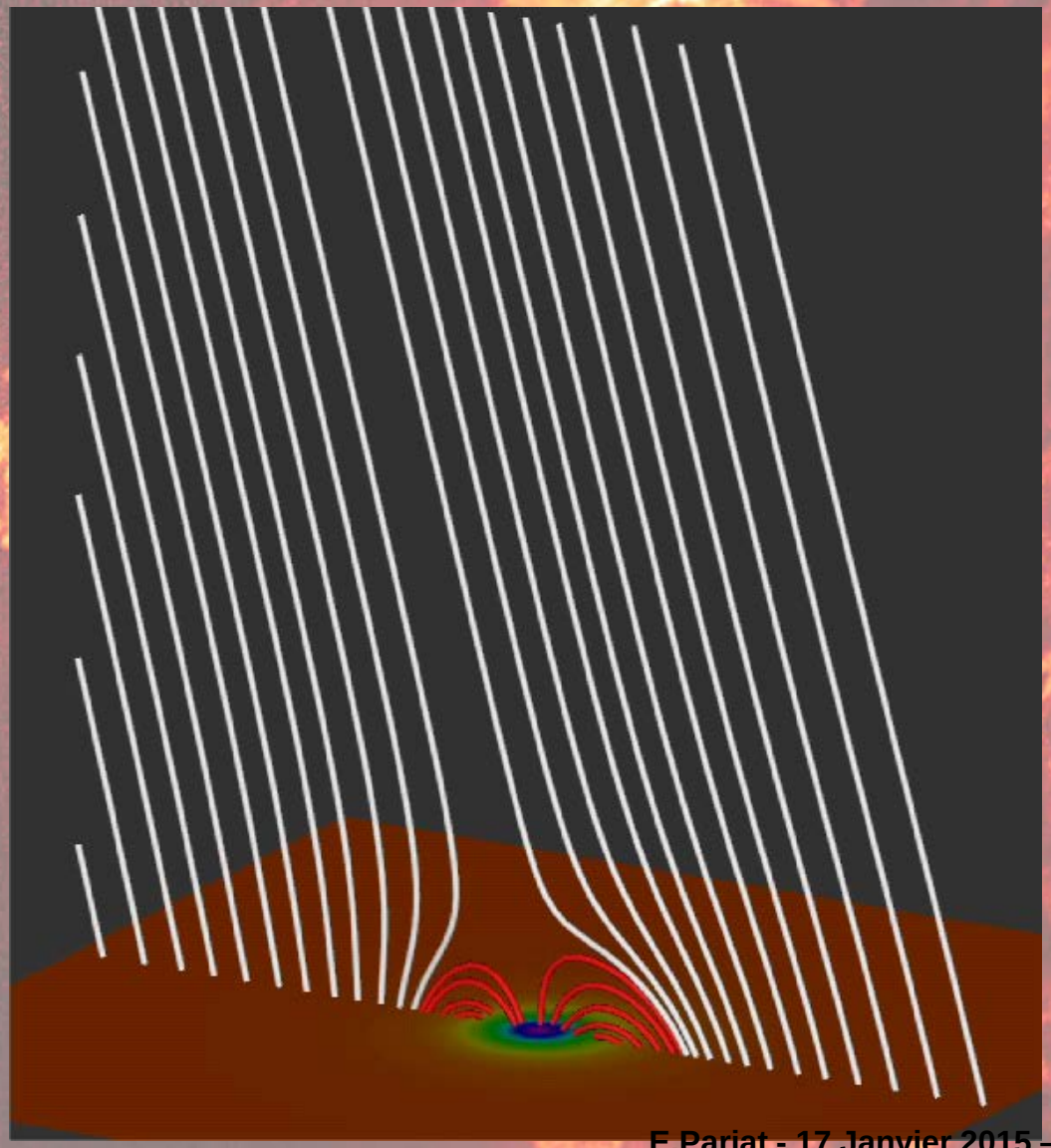
- **La reconnexion magnétique est le mécanisme central des éruptions.**

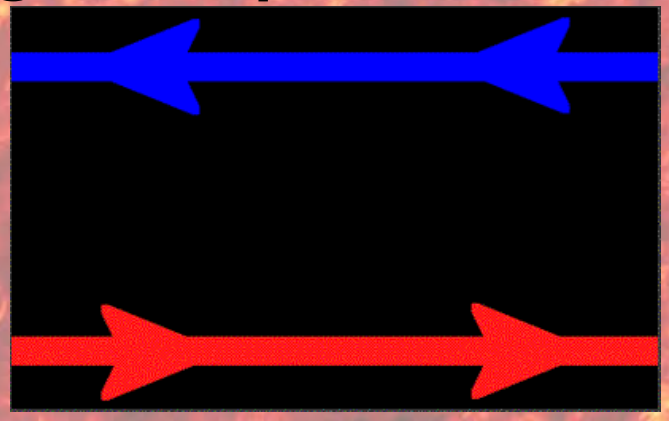
- La reconnexion magnétique correspond à un “couper-coller” des lignes des champs magnétique





Au cœur des éruptions: la reconnexion magnétique





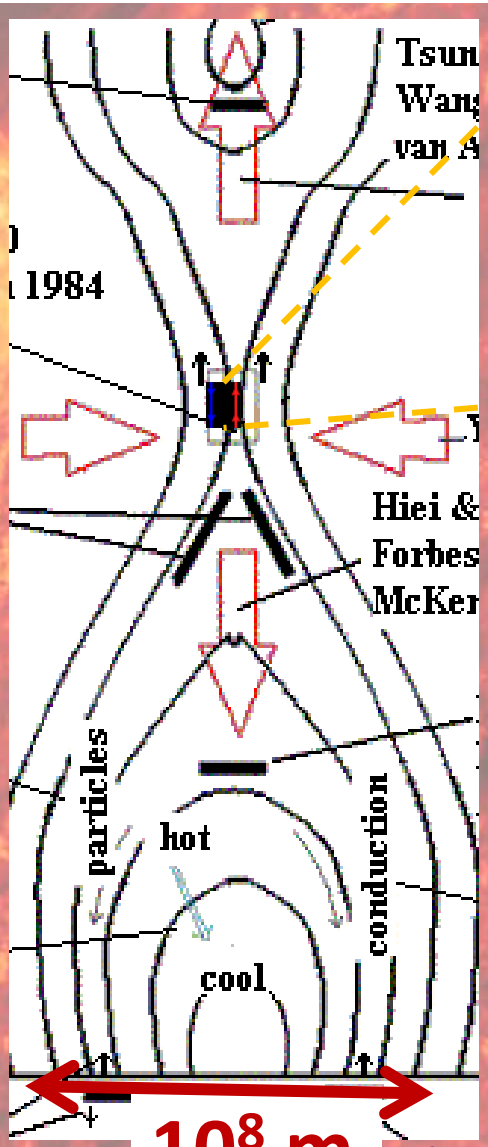
- **La reconnexion magnétique entraine:**
  - Une reconfiguration globale du champ magnétique
  - La transformation de l'énergie magnétique en d'autres forme d'énergies
    - Chauffage
    - Cinétique: particules et CMEs
    - Rayonnement électromagnétique

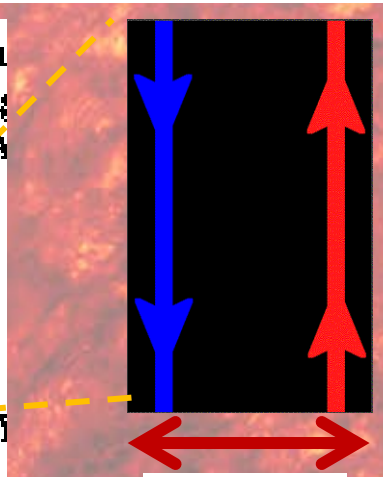
Le problèmes des échelles

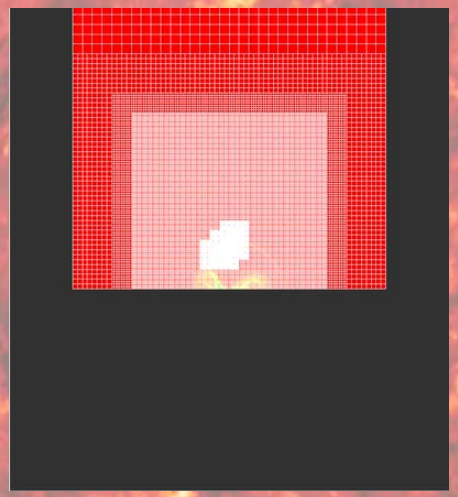
- Couplage entre mécanismes se déroulant à des échelles très différentes
  - Grande tailles, 10^7-10^9: régions actives, stockage de l'énergie
  - Petites tailles, 0.1-10 m: reconnexion magnétique

- Observations: meilleure résolution actuelle ~50 km
- Simulation numériques:
  - Nécessaire:~10^{30-38} unités à traiter
  - Capacité actuelle:~10^{12} unités traitées

- **➔ Il est aujourd'hui (et pour quelques temps) impossible de traiter le problème complet.**



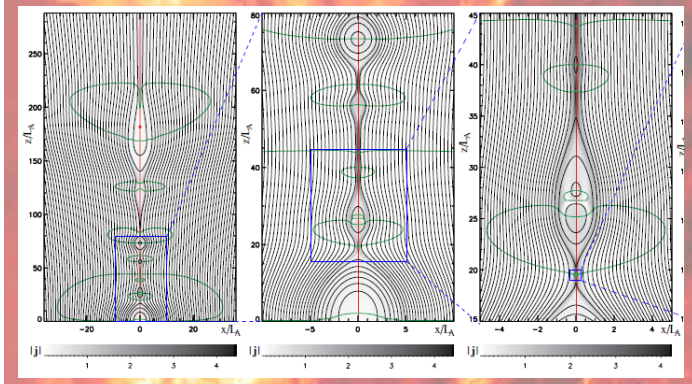


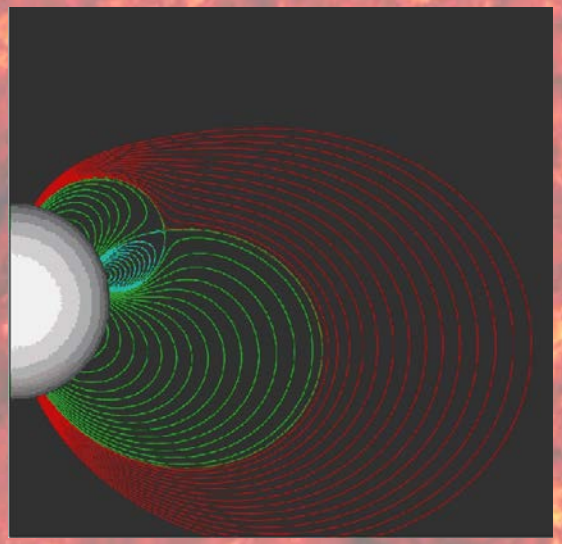


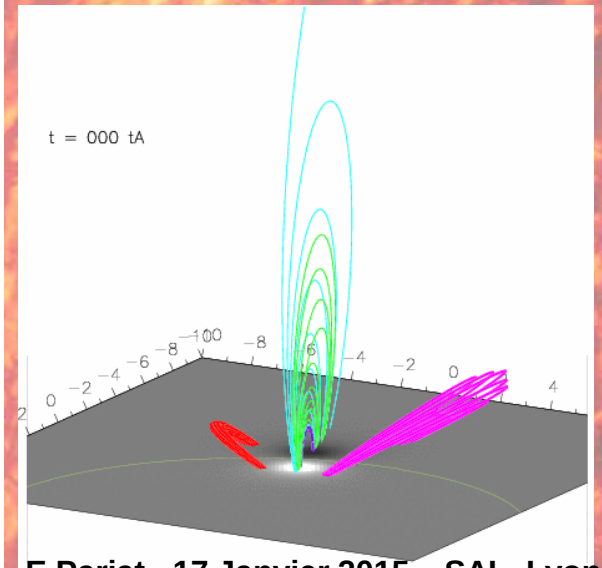
Une jungle de modèle

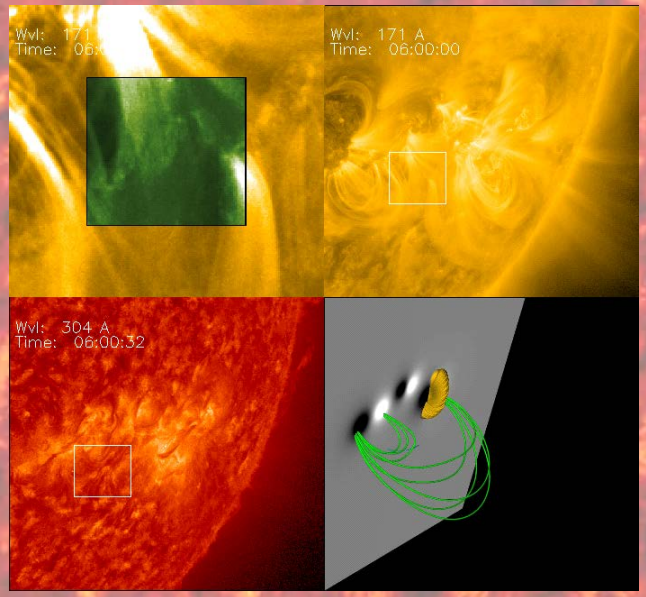
- Modélisation depuis les petites échelles
  - Traitement correct de la reconnexion magnétique
  - Conditions initiales non réalistes
  - Comparaison limités avec observations

- Modélisation depuis les grandes échelles
  - Auto-consistant
  - Capacité prédictive
  - Reconnexion: physiquement irréaliste.









Prédiction des éruptions

- Nous ne connaissons pas (encore) de condition nécessaire au déclanchement des éruptions
- **➔ Predictions sont uniquement basés sur des conditions suffisantes**
  - Liés au stockage de l'énergie
- Un critère seul ne donne pas de bonnes prédictions
  - Combinaison de plusieurs critères améliore les prédictions

SUCCESS RATES AND SKILL SCORES FOR THE SAMPLE PARAMETERS

Parameter	Success Rate	Heidke Skill Score	Climatological Skill Score
No Flare	0.908	0.000	0.000
Φ_{tot}	0.922	0.153	0.197
E_e	0.916	0.081	0.231
R	0.922	0.144	0.242
B_{eff}	0.913	0.072	0.220

TABLE 1
PARAMETERS USED IN THE DISCRIMINANT ANALYSIS

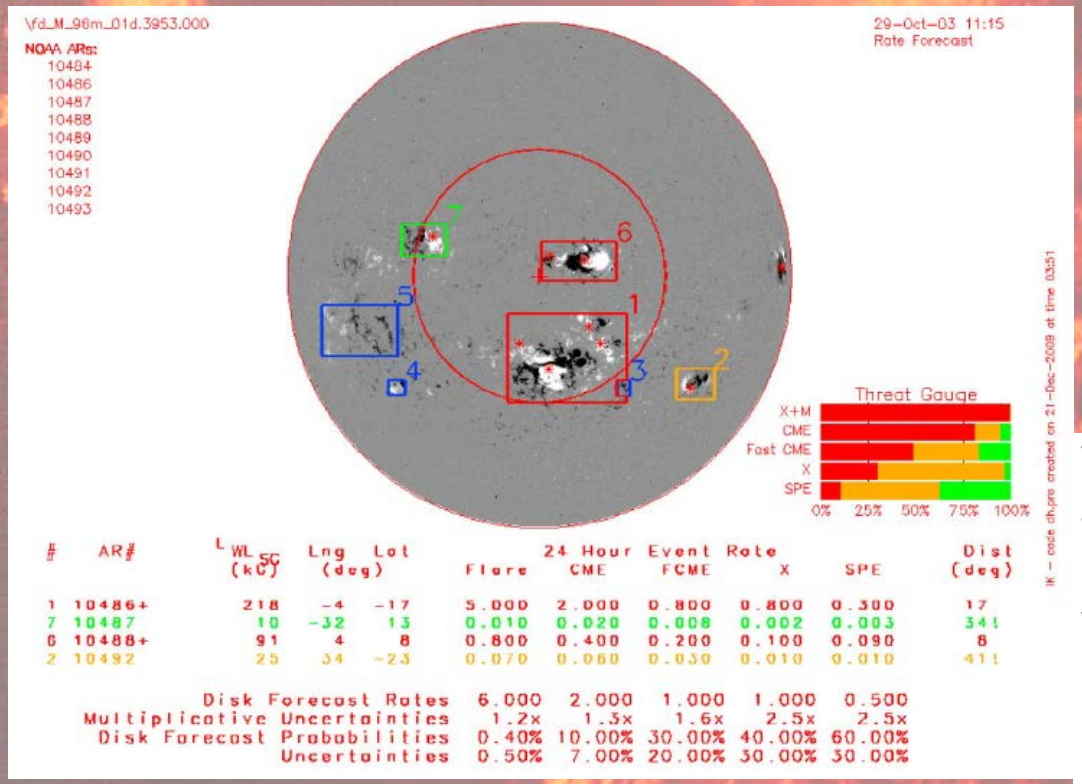
Description	Formula	Variable
Atmospheric Seeing		
Median of the granulation contrast	$s = \mathrm{median}(\Delta I)$	s
Distribution of Magnetic Fields		
Moments of vertical magnetic field	$B_z = \boldsymbol{B} \cdot \boldsymbol{e}_z$	$\mathcal{M}(B_z)$
Total unsigned flux	$\Phi_{tot} = \sum \lvert B_z \rvert \, dA$	Φ_{tot}
Absolute value of the net flux	$\lvert \Phi_{net} \rvert = \lvert \sum B_z \, dA \rvert$	$\lvert \Phi_{net} \rvert$
Moments of horizontal magnetic field	$B_h = \left(B_x^2 + B_y^2\right)^{1/2}$	$\mathcal{M}(B_h)$
Distribution of Inclination Angle		
Moments of inclination angle	$\gamma = \tan^{-1}(B_z/B_h)$	$\mathcal{M}(\gamma)$
Distribution of the Magnitude of the Horizontal Gradients of the Magnetic Fields		
Moments of total field gradients	$\lvert \nabla_h B \rvert = \left[(\partial B/\partial x)^2 + (\partial B/\partial y)^2\right]^{1/2}$	$\mathcal{M}(\lvert \nabla_h B \rvert)$
Moments of vertical field gradients	$\lvert \nabla_h B_z \rvert = \left[(\partial B_z/\partial x)^2 + (\partial B_z/\partial y)^2\right]^{1/2}$	$\mathcal{M}(\lvert \nabla_h B_z \rvert)$
Moments of horizontal field gradients	$\lvert \nabla_h B_h \rvert = \left[(\partial B_h/\partial x)^2 + (\partial B_h/\partial y)^2\right]^{1/2}$	$\mathcal{M}(\lvert \nabla_h B_h \rvert)$
Distribution of Vertical Current Density		
Moments of vertical current density	$J_z = C(\partial B_y/\partial x - \partial B_x/\partial y)$	$\mathcal{M}(J_z)$
Total unsigned vertical current	$I_{tot} = \sum \lvert J_z \rvert \, dA$	I_{tot}
Absolute value of the net vertical current	$\lvert I_{net} \rvert = \lvert \sum J_z \, dA \rvert$	$\lvert I_{net} \rvert$
Sum of absolute value of net currents in each polarity	$\lvert I_{net}^B \rvert = \lvert \sum J_z (B_z > 0) \, dA \rvert + \lvert \sum J_z (B_z < 0) \, dA \rvert$	$\lvert I_{net}^B \rvert$
Moments of vertical heterogeneity current density[a]	$J_z^h = C(b_y \partial B_x/\partial y - b_x \partial B_y/\partial x)$	$\mathcal{M}(J_z^h)$
Total unsigned vertical heterogeneity current	$I_{tot}^h = \sum \lvert J_z^h \rvert \, dA$	I_{tot}^h
Absolute value of net vertical heterogeneity current	$\lvert I_{net}^h \rvert = \lvert \sum J_z^h \, dA \rvert$	$\lvert I_{net}^h \rvert$
Distribution of Twist Parameter		
Moments of twist parameter[b]	$\alpha = C J_z / B_z$	$\mathcal{M}(\alpha)$
Best-fit force-free twist parameter[b]	$\boldsymbol{B} = \alpha_{ff} \nabla \times \boldsymbol{B}$	$\lvert \alpha_{ff} \rvert$
Distribution of Current Helicity		
Moments of current helicity[c]	$h_c = C B_z (\partial B_y/\partial x - \partial B_x/\partial y)$	$\mathcal{M}(h_c)$
Total unsigned current helicity	$H_c^{tot} = \sum \lvert h_c \rvert \, dA$	H_c^{tot}
Absolute value of net current helicity	$\lvert H_c^{net} \rvert = \lvert \sum h_c \, dA \rvert$	$\lvert H_c^{net} \rvert$
Distribution of Shear Angles		
Moments of 3D shear angle[d]	$\Psi = \cos^{-1}(\boldsymbol{B}^p \cdot \boldsymbol{B}^o / B^p B^o)$	$\mathcal{M}(\Psi)$
Area with shear $>\Psi_0$, $\Psi_0 = 45°, 80°$	$A(\Psi > \Psi_0) = \sum_{\Psi > \Psi_0} dA$	$A(\Psi > 45°)$, $A(\Psi > 80°)$
Moments of neutral line shear angle	$\Psi_{NL} = \cos^{-1}(\boldsymbol{B}_{NL}^p \cdot \boldsymbol{B}_{NL}^o / B_{NL}^p B_{NL}^o)$	$\mathcal{M}(\Psi_{NL})$
Length of neutral line with shear $>\Psi_0$	$L(\Psi_{NL} > \Psi_0) = \sum_{\Psi_{NL} > \Psi_0} dL$	$L(\Psi_{NL} > 45°)$, $L(\Psi_{NL} > 80°)$
Moments of horizontal shear angle[e]	$\psi = \cos^{-1}(\boldsymbol{B}_h^p \cdot \boldsymbol{B}_h^o / B_h^p B_h^o)$	$\mathcal{M}(\psi)$
Area with horizontal shear $>\psi_0$	$A(\psi > \psi_0) = \sum_{\psi > \psi_0} dA$	$A(\psi > 45°)$, $A(\psi > 80°)$
Distribution of Photospheric Excess Magnetic Energy Density		
Moments of photospheric excess magnetic energy density[d]	$\rho_e = (\boldsymbol{B}^p - \boldsymbol{B}^o)^2 / 8\pi$	$\mathcal{M}(\rho_e)$
Total photospheric excess magnetic energy	$E_e = \sum \rho_e \, dA$	E_e

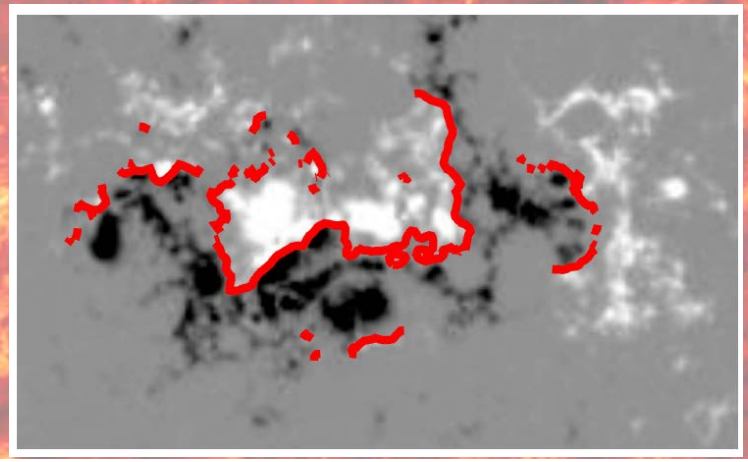
(Crown 12)

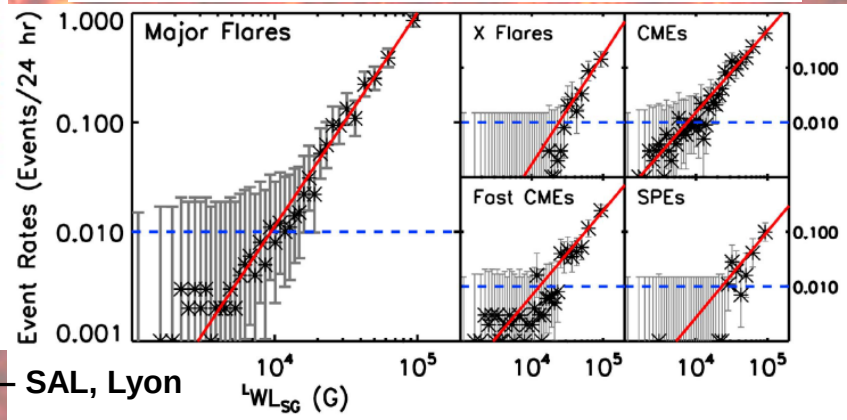
(Leka & Barnes 07)

Prédiction des éruptions

- Prédictions basés sur des modèles empiriques
  - Fonctionne seulement avec des fenêtres temporelle large: > 24hrs
- Prédictions journalières: SWPC, SIDC, …
  - Prediction pour éruptions importantes: 40-50%



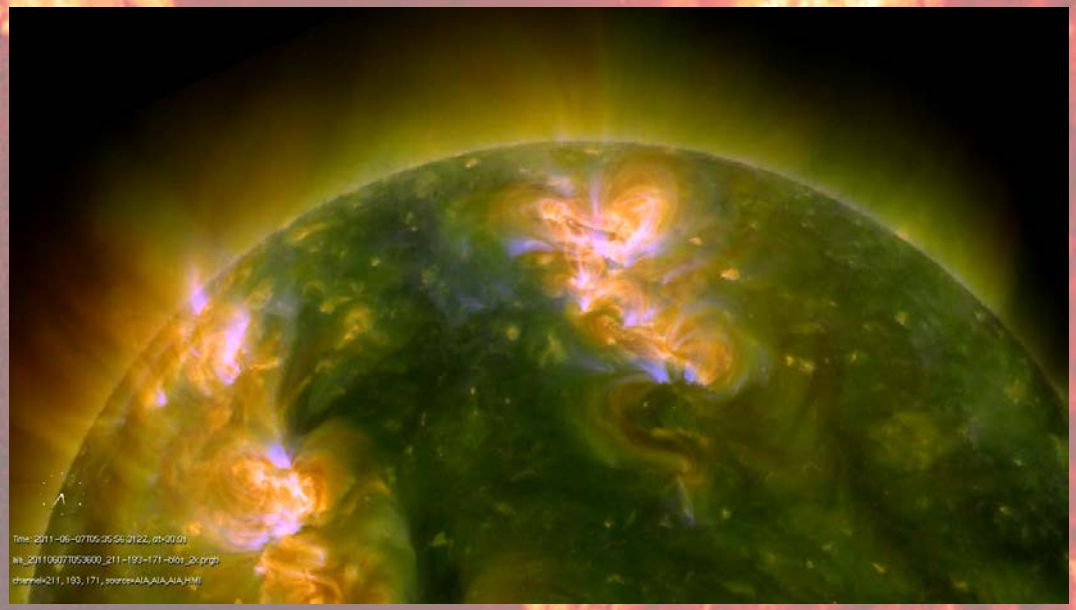


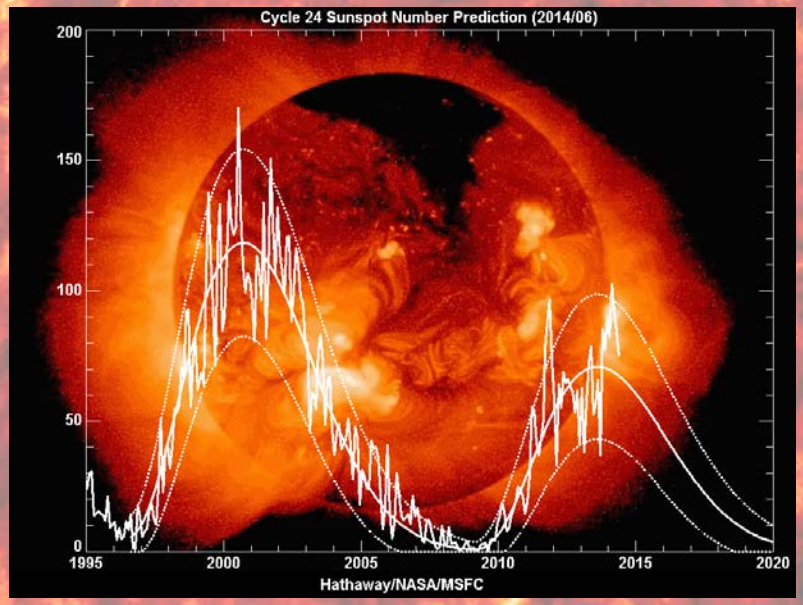


(Falconer et al. 11)

Conclusions

- La météorologie de l'espace est un domaine en pleine maturation
- Nécessite de la recherche théorique pour comprendre les conditions nécessaires de déclenchement des éruptions.
  - Programme européen FLARECAST de prévision des éruptions
- 2014-2015: maximum de l'activité solaire
  - De nombreuses occasions d'améliorer nos connaissances
  - Profitons du spectacle: 10^8éme image de SDO Lundi 19 à 17h49.07s





l'Observatoire de Paris — LESIA — Laboratoire d'Études Spatiales et d'Instrumentation en Astrophysique

cnrs dépasser les frontières

NASA esa

Solar Orbiter

Explorer les liens Soleil-Héliosphere

Samedi 17 Janvier 2015
Société Astronomique de Lyon

Etienne PARIAT

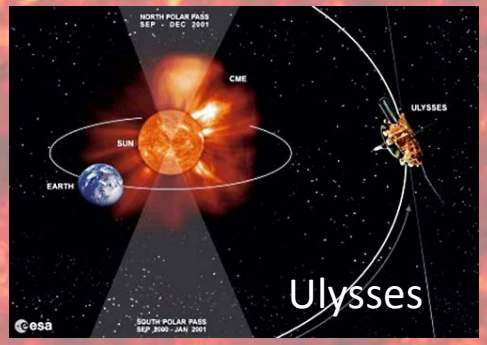
Remerciement Daniel Müller
Solar Orbiter Project Scientist

Solar Orbiter

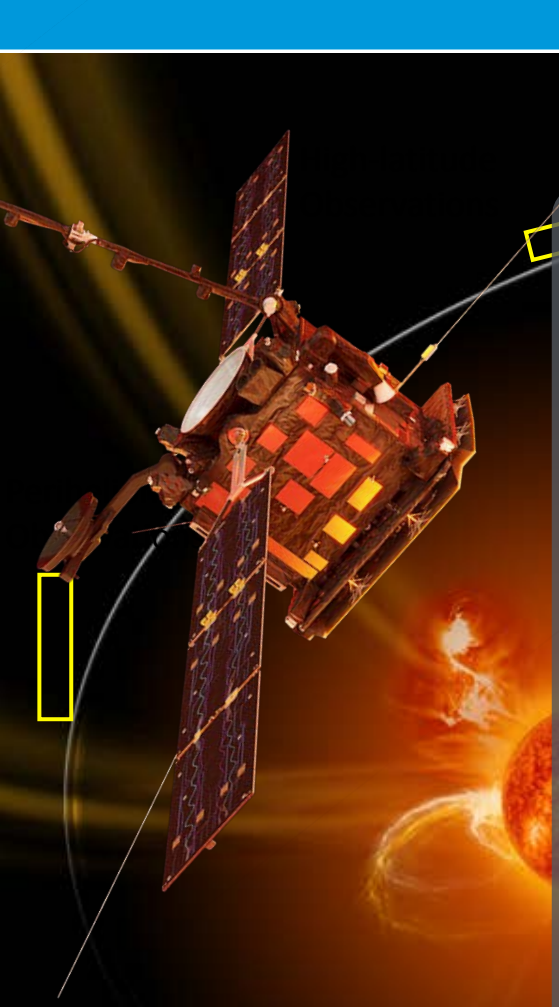
- Première mission de classe **M**oyenne du programme de l'ESA Cosmic Vision 2015-2025, implémenté conjointement avec la NASA

- 10 instrument dédiés de mesures à distance de l'atmosphère solaire et in-situ et dans le vent solaire.

- Objectif: se rapprocher du Soleil afin de mieux comprendre le couplage entre le Soleil et l'héliosphère



- Un projet de très longue haleine
  - ~90s: Premières discussions
  - 1998: Idée projet approuvé
  - 2001: Etude faisabilité
  - 2006: Gel mission
  - 2009: Sélection technique
  - 2011: Mission confirmé
  - 2017: Lancement prévu
  - 2020: Début Acquisition donnée
  - 2023: Fin de vie nominale
  - 2025: Fin de la période étendue
  - ~ 2035: Fin d'exploitation des données



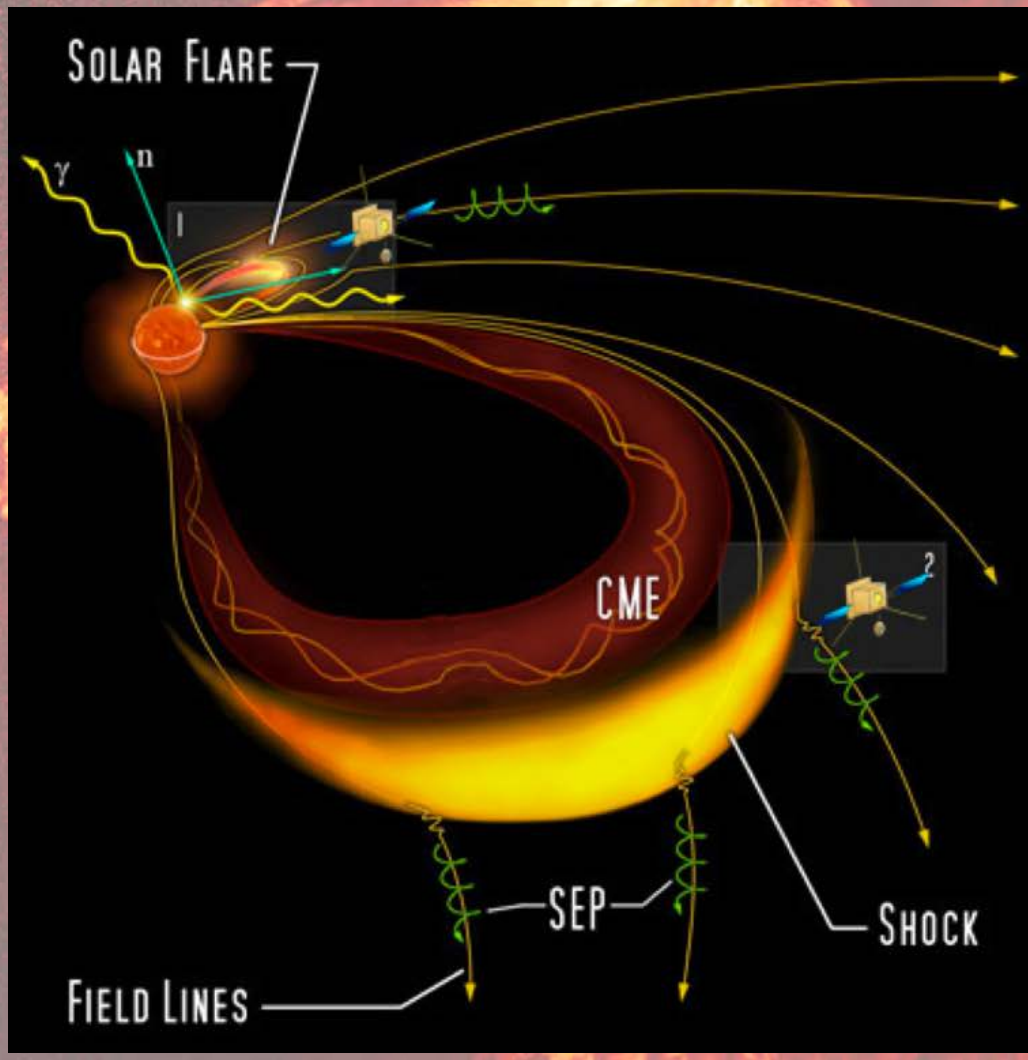
Objectifs Scientifiques

Comment le Soleil crée et contrôle l'héliosphère?
Pourquoi l'activité solaire change avec le temps?

- Qu'est ce qui génère le vent solaire et comment est généré le champ magnétique?
- Comment les phénomènes transitoires contrôlent la variabilité de l'héliosphère?
- Comment les éruptions solaires produisent les particules énergétiques qui remplissent l'héliosphère?
- Comment la dynamo solaire fonctionne? Comment contrôle-t' elle la relation Soleil-Héliosphère?

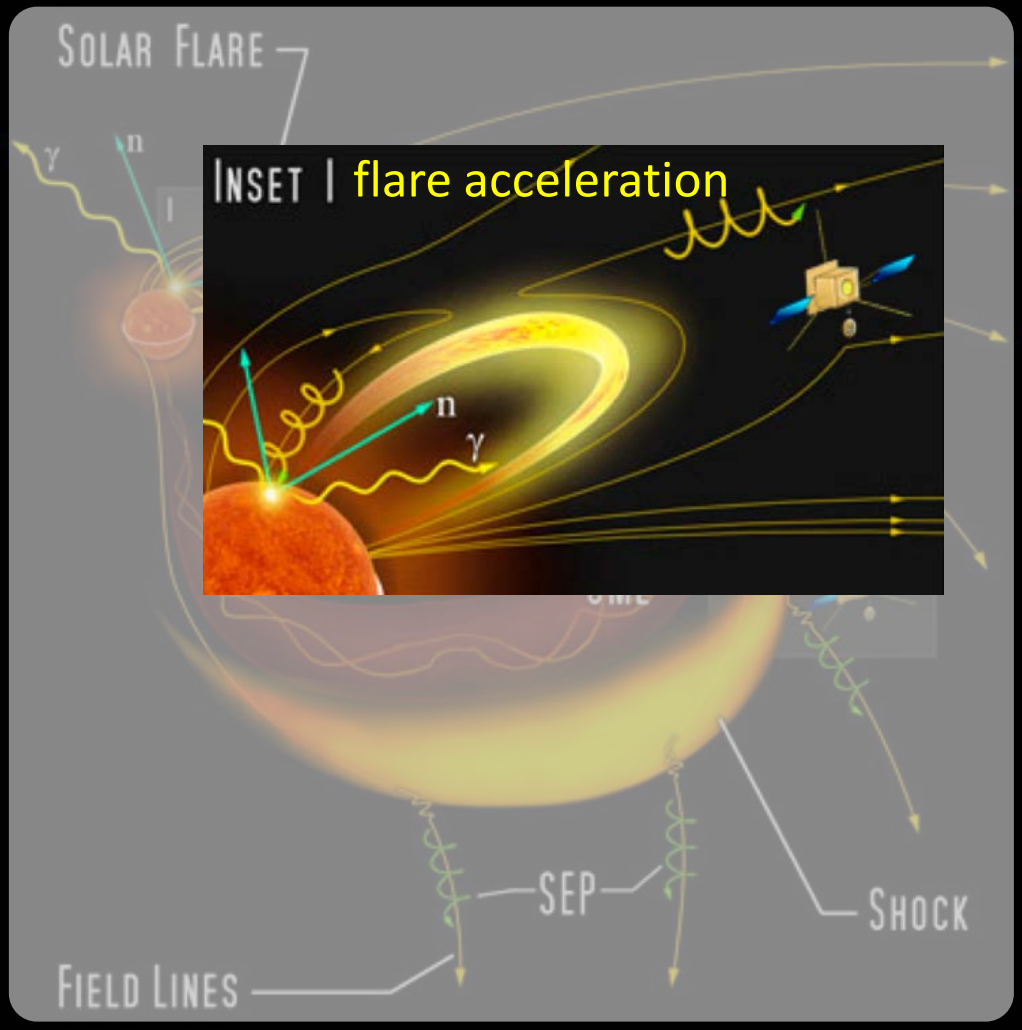
Mission overview: Müller et al., *Solar Physics* **285** (2013)

Solar Orbiter
Exploring the Sun-Heliosphere Connection

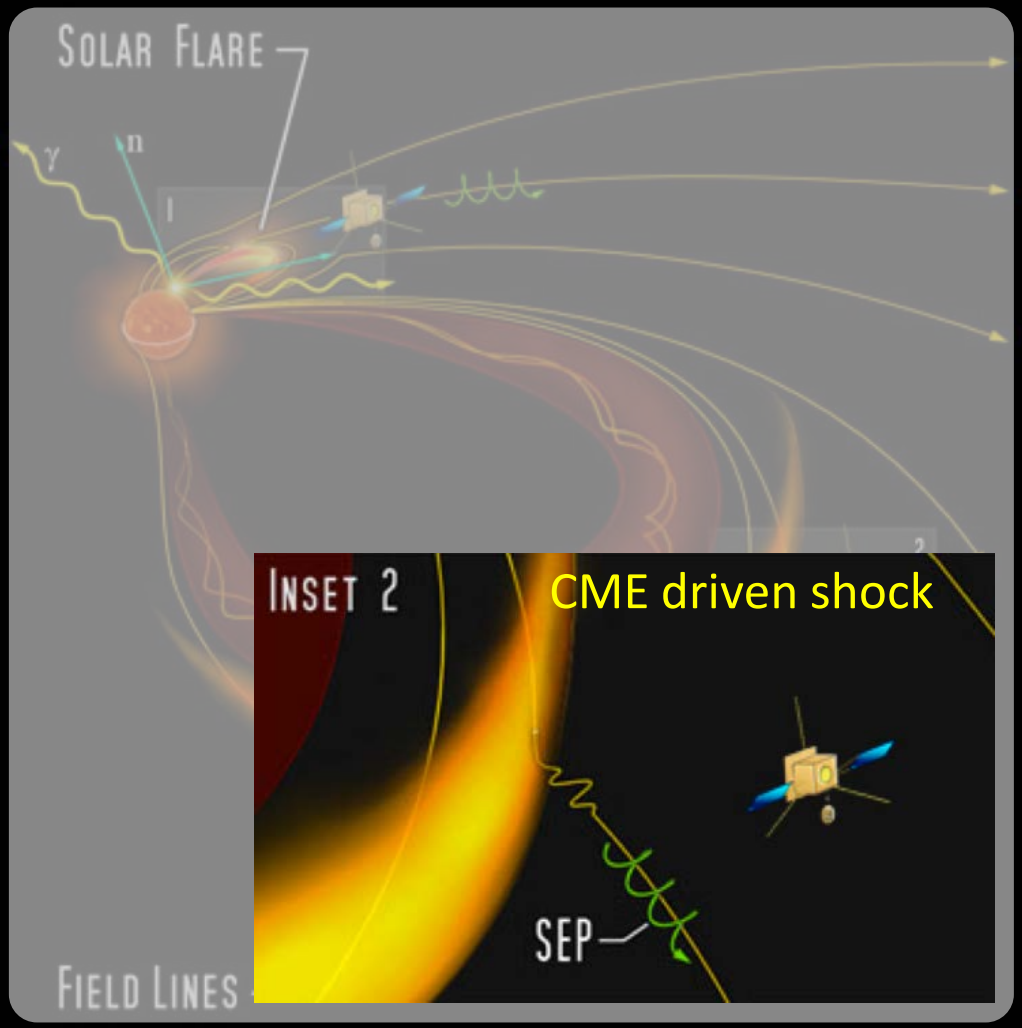


- Comment les éruptions solaires produisent les particules énergétiques qui remplissent l'héliosphère?

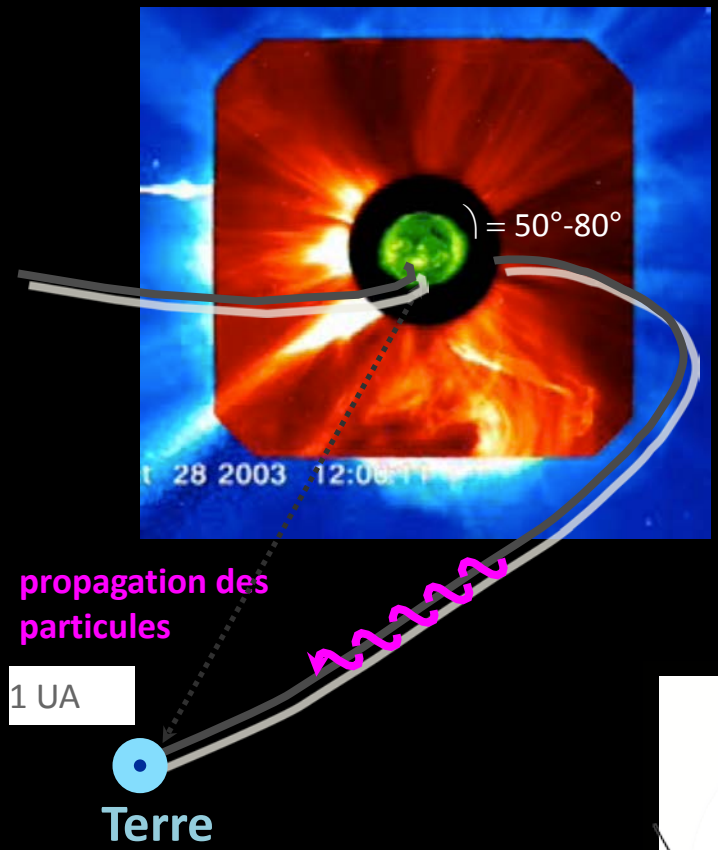
- L'accélération des particules lors des éruptions est un des mécanismes les moins bien compris de physique solaire!



- Comment les éruptions solaires produisent les particules énergétiques qui remplissent l'héliosphère?
- 2 mécanismes:
  - **Au sein de site de déclenchement de l'éruption**, grâce à la reconnexion magnétique



- Comment les éruptions solaires produisent les particules énergétiques qui remplissent l'héliosphère?
- 2 mécanismes:
  - Au sein de site de déclenchement de l'éruption, grâce à la reconnexion magnétique
  - **En amont de la CME**, dans le choc crée par la propagation de la CME dans le vent solaire

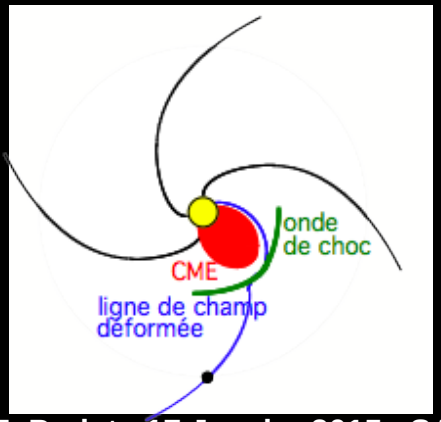


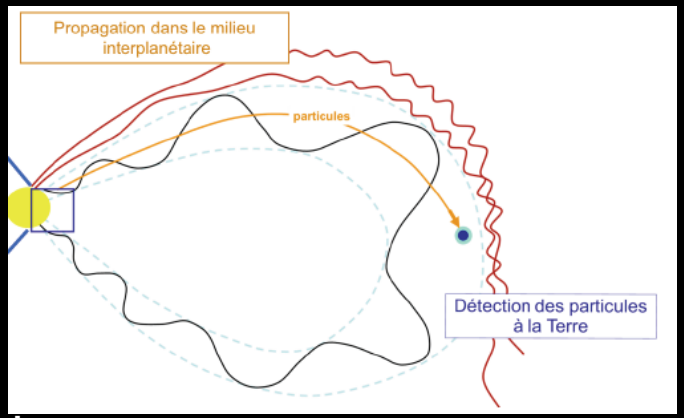
- Une fois généré, les particules se propagent dans le vent solaire le long du champ mag. interplanétaire.
- Lors des éruptions le champ magnétique interplanétaire est généralement très perturbé

➔ **Depuis la Terre, il est très difficile de déduire la source des particules détectés.**

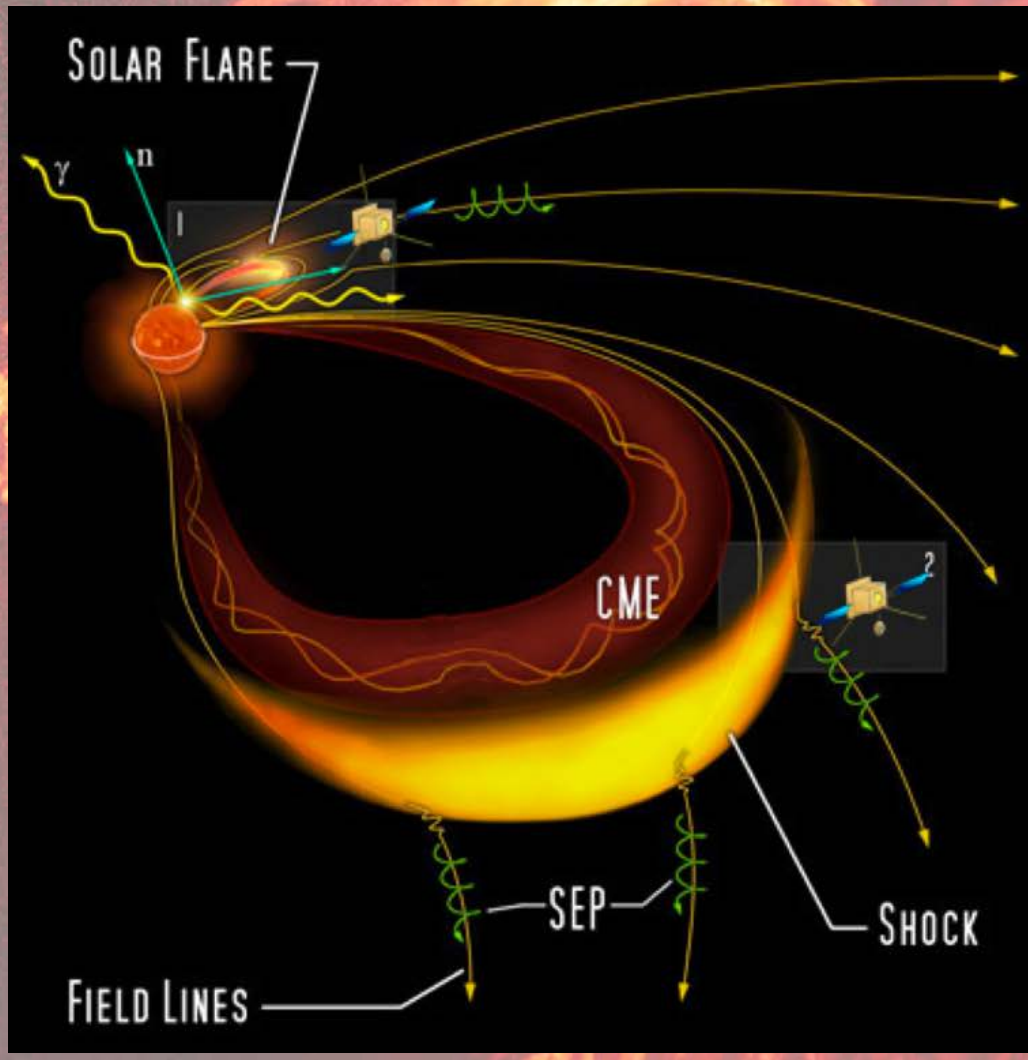
- **Il peut y avoir un mélange des populations de particules générés par différents mécanismes**

Perturbation du champ magnétique interplanétaire





Solar Orbiter
Exploring the Sun-Heliosphere Connection

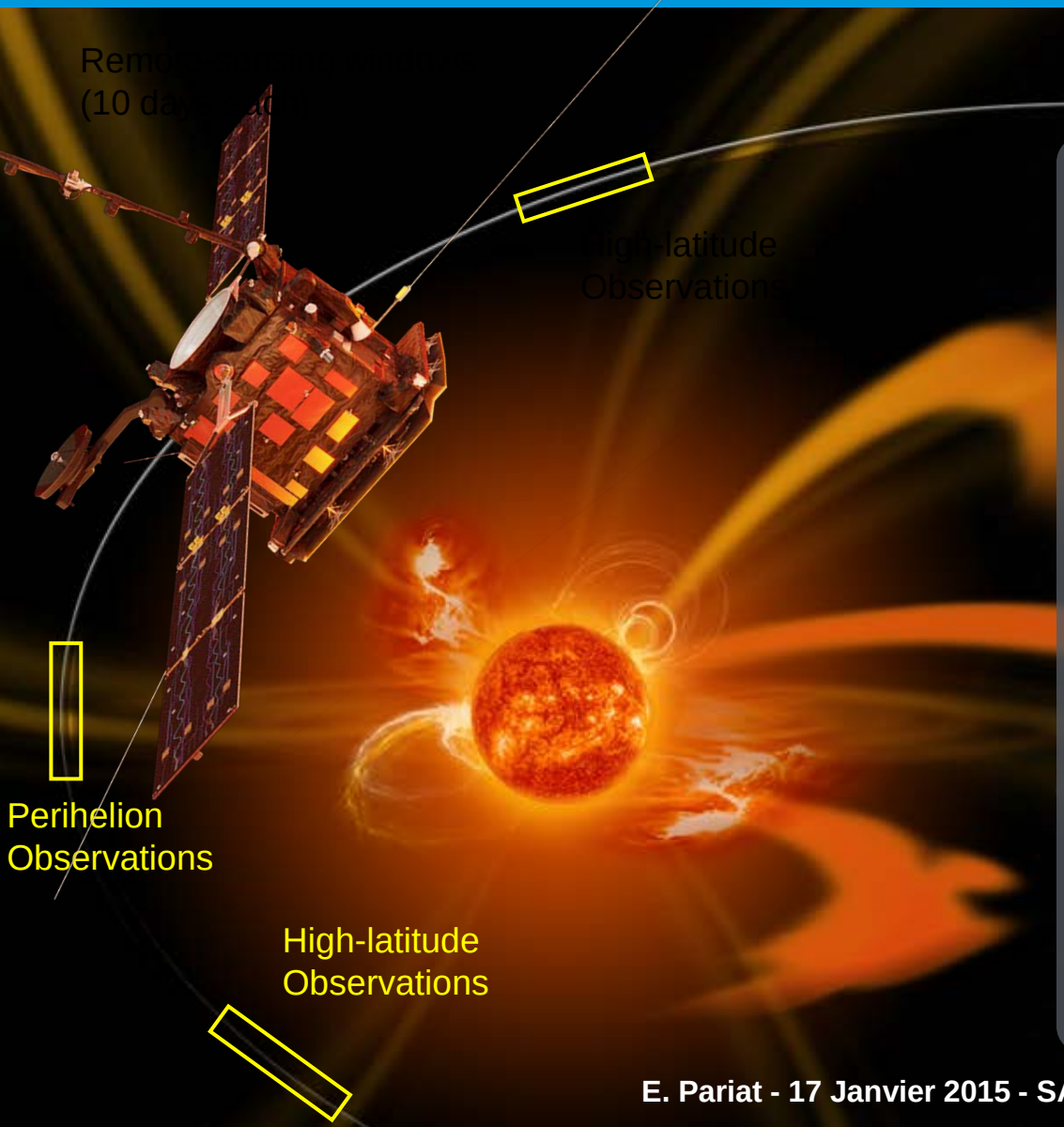


- Comment les éruptions solaires produisent les particules énergétiques qui remplissent l'héliosphère?

- **En se rapprochant de la source de génération des particules, Solar Orbiter supprimera les perturbations apparaissant lors de la propagation**

- Solar Orbiter permettra de tester l'importance relative des deux mécanismes d'accélération

Solar Orbiter
Exploring the Sun-Heliosphere Connection



Mission

Lancement: Juillet 2017 (Backup: Oct 2018)

Phase croisière: 3 ans

Durée Nominale: 3.5 ans

Durée étendue: 2.5 years

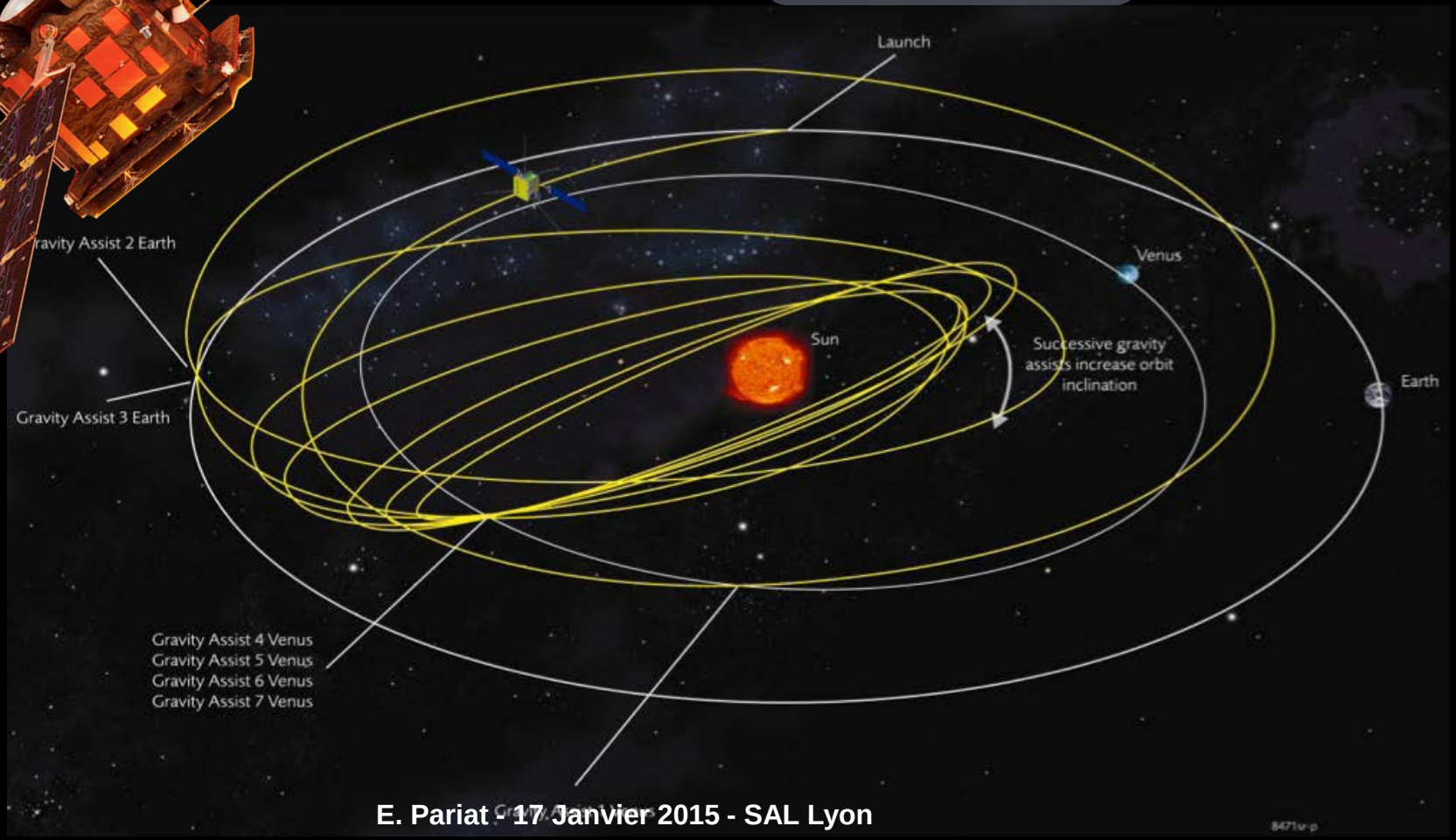
Orbite: 0.28–0.91 AU (P=150-180 jours)

Vue hors de l'écliptique:
Plusieurs assistance gravitationnelle de Venus pour augmenter l'inclinaison hors de l'écliptique : >24° (mission nominale), >34° (mission étendue)

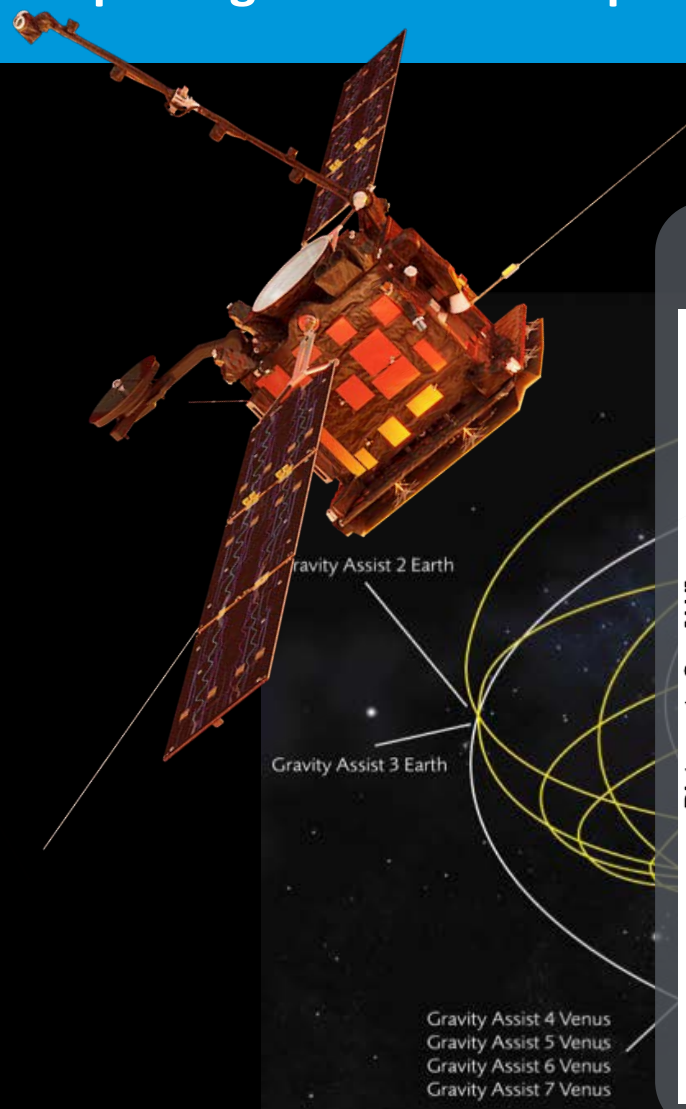
Diminue la vitesse de rotation relative du Soleil:
Observations de l'évolution de structures à la surface du Soleil et dans l'héliosphère pendant une rotation soleil complète.

Solar Orbiter
Exploring the Sun-Heliosphere Connection

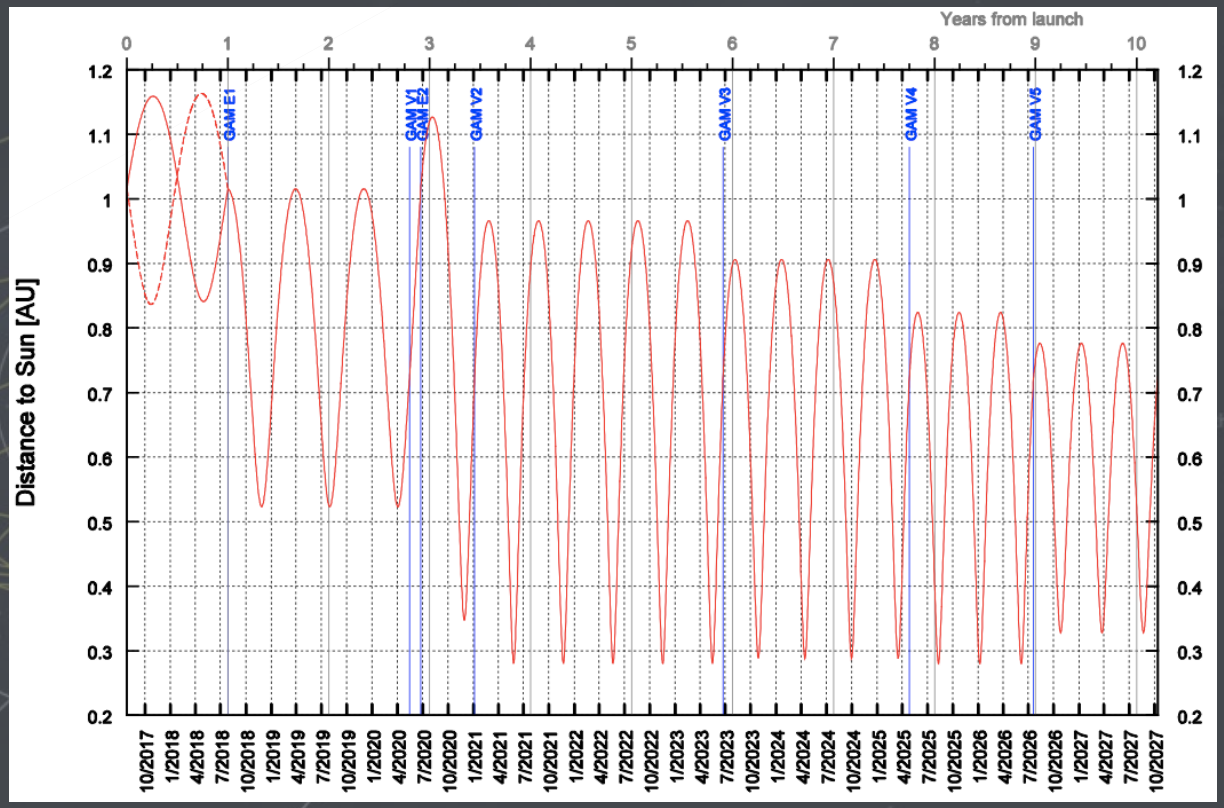
Mission Profile



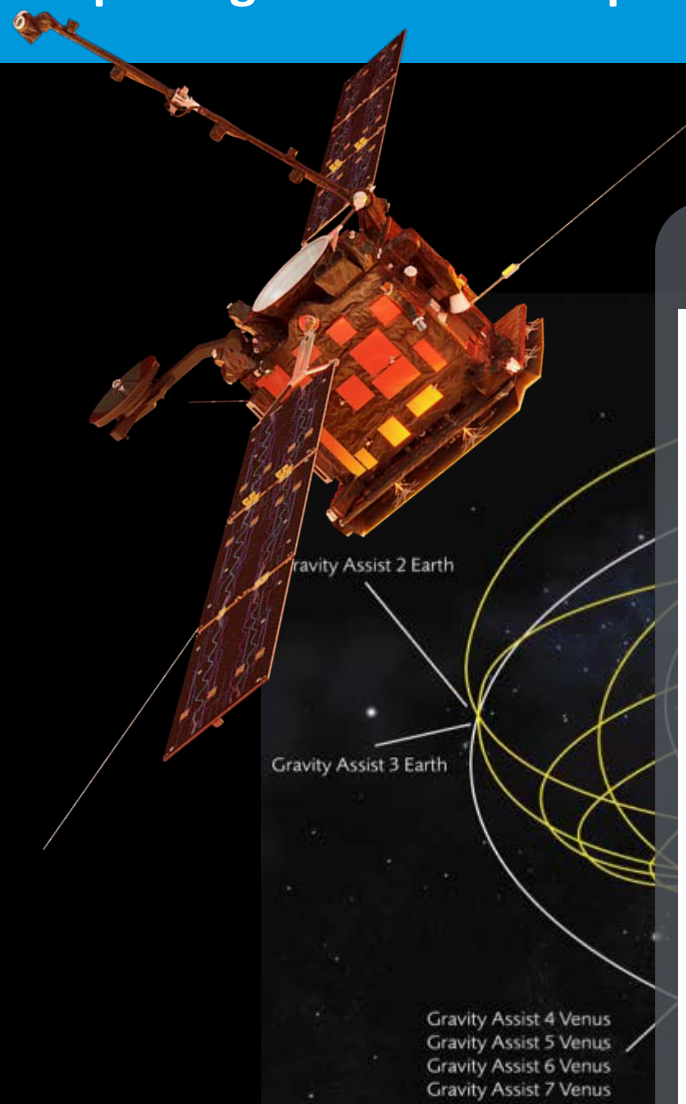
Solar Orbiter
Exploring the Sun-Heliosphere Connection



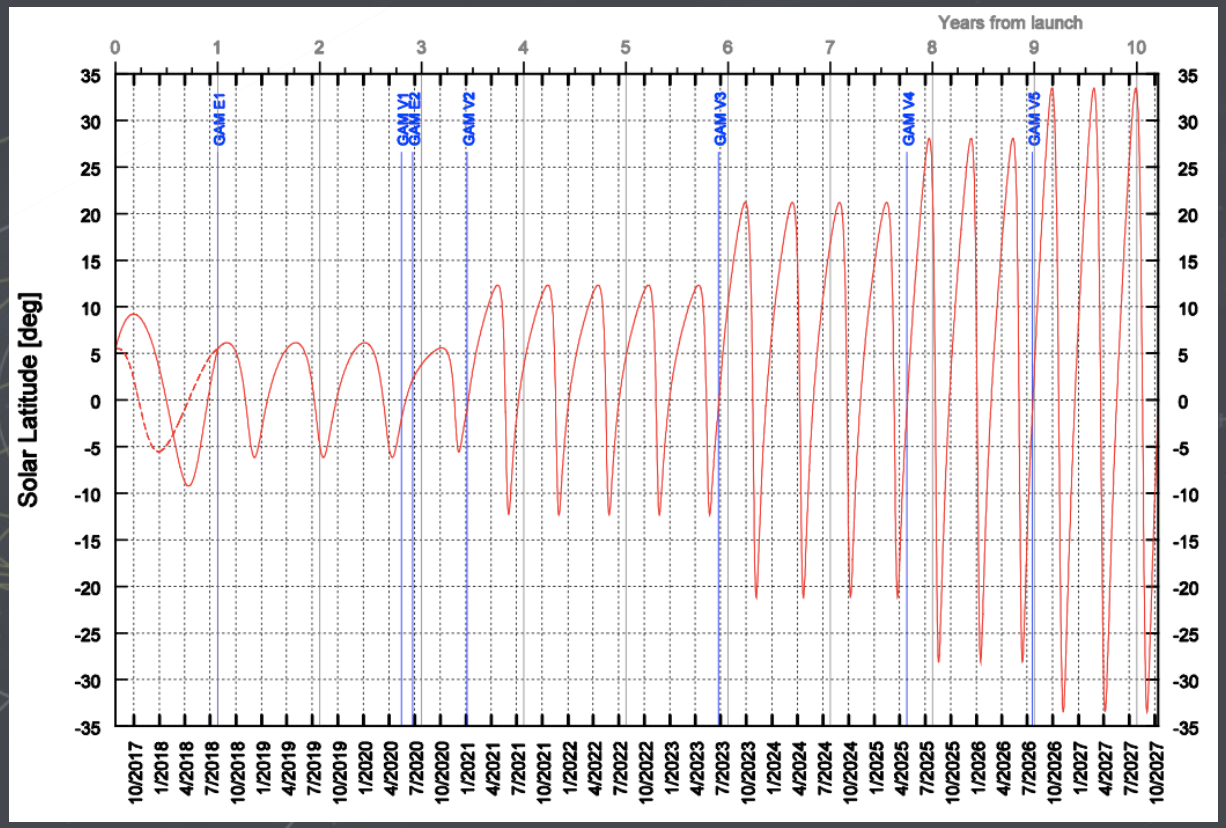
Lancement 07/2017: Distance

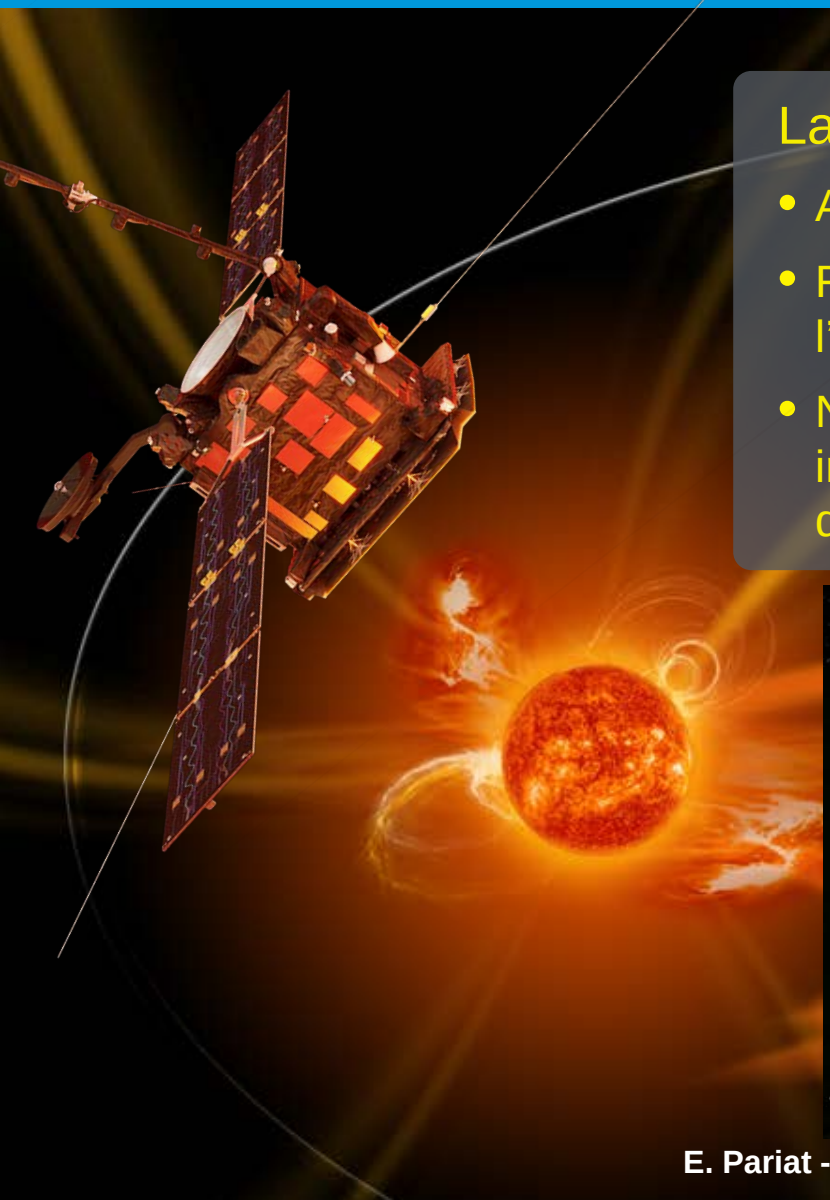


Solar Orbiter
Exploring the Sun-Heliosphere Connection



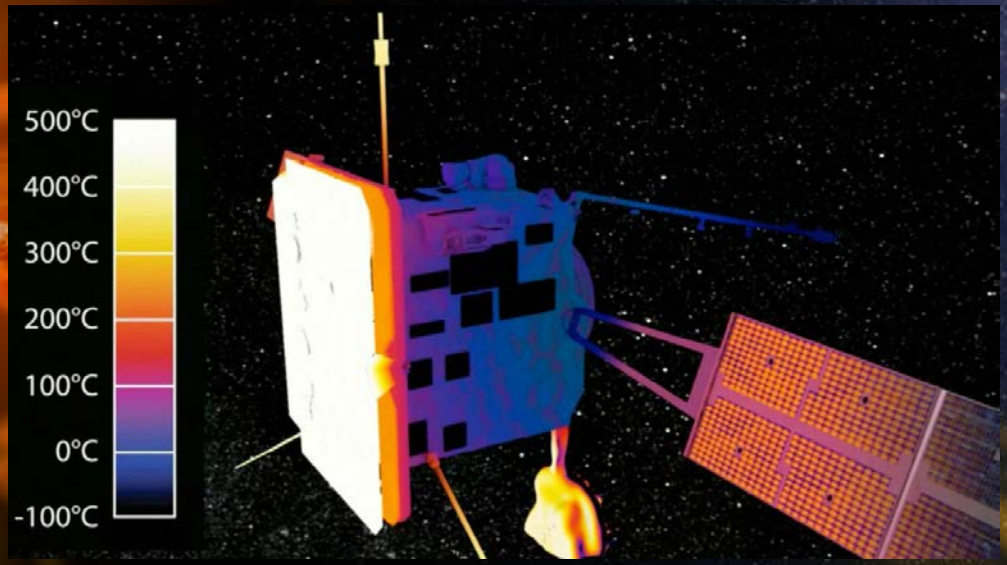
Lancement 07/2017: Latitude





La Sonde

- Approche maximale: 0.28 AU
- Forte différence de température entre l'avant et l'arrière de la Sonde ➔ Bouclier thermique
- Ne permet pas d'utiliser des télescopes de diamètre important: sauf exception (STIX) pas d'amélioration de la résolution spatiale des observations



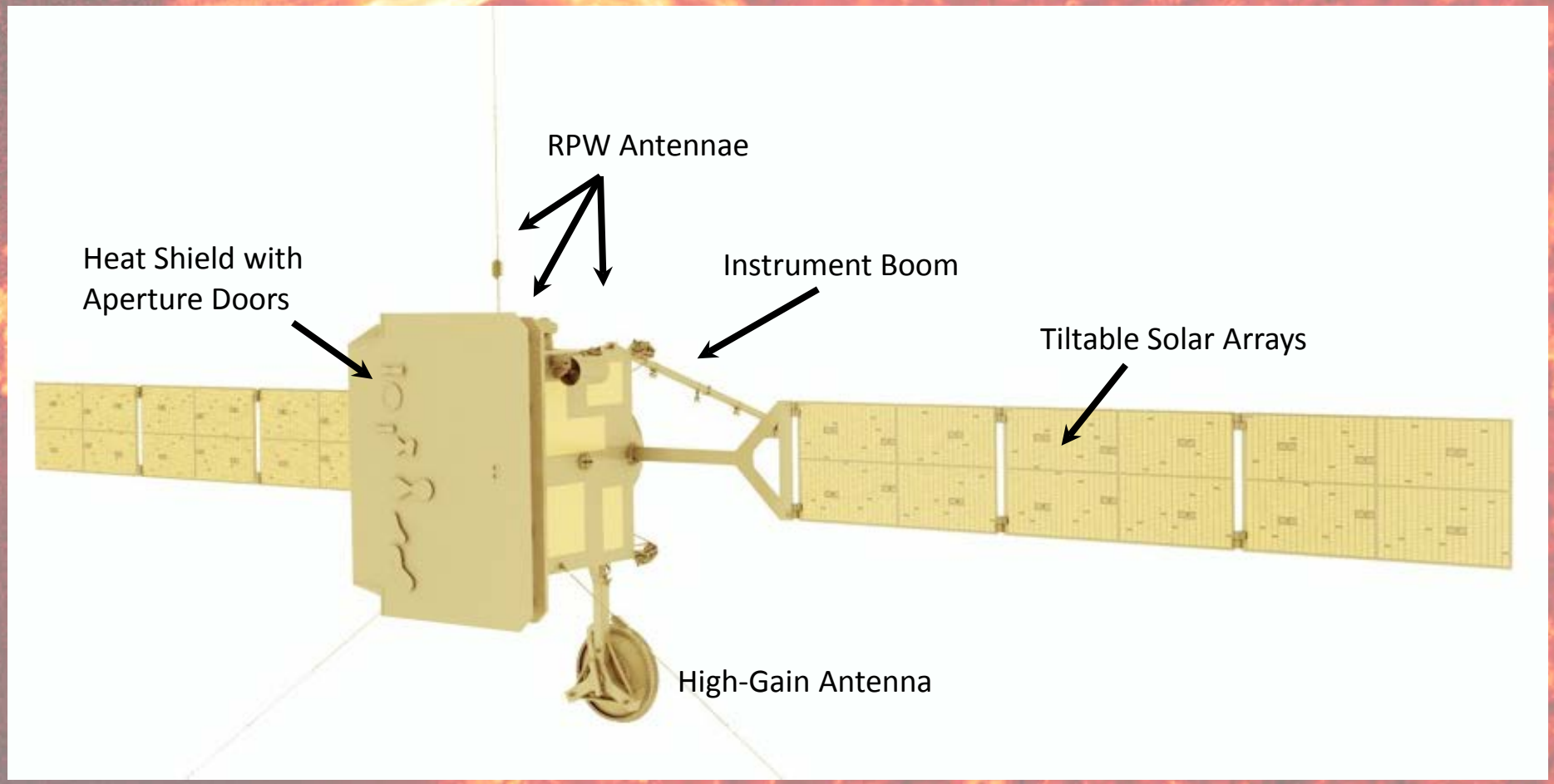
Status actuel

Bouclier thermique STM de Solar Orbiter descendant dans le Large Space Simulator à ESTEC (Pays-Bas)

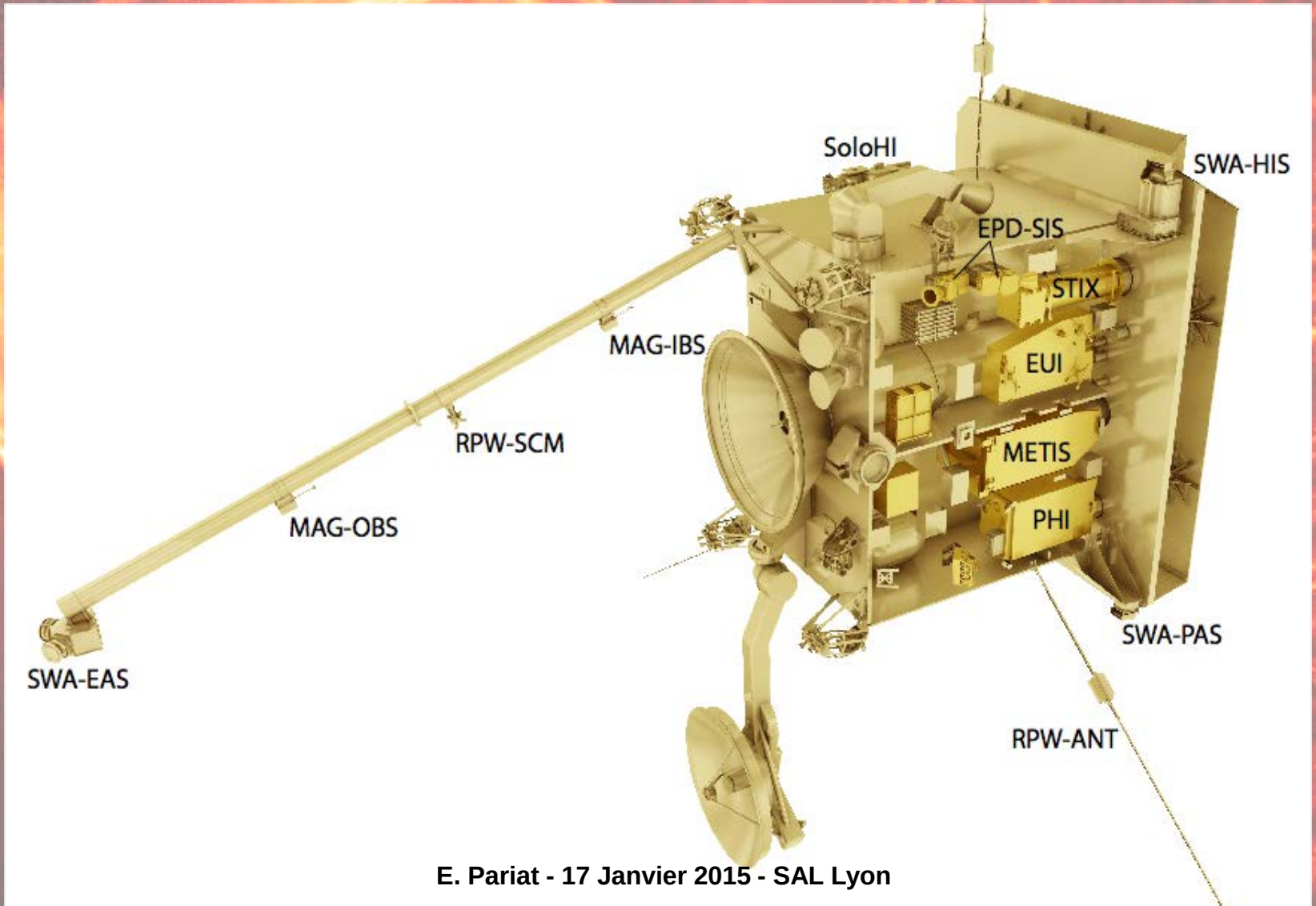
Instruments embarqués

Instruments In-Situ			
EPD	Energetic Particle Detector	J. Rodríguez- Pachec	Composition, timing and distribution functions of energetic particles
MAG	Magnetometer	T. Horbury	High-precision measurements of the heliospheric magnetic field
RPW	Radio & Plasma Waves	M. Maksimovic	Electromagnetic and electrostatic waves, magnetic and electric fields at high time resolution
SWA	Solar Wind Analyser	C. Owen	Sampling protons, electrons and heavy ions in the solar wind
Instruments de mesure à distance			
EUI	Extreme Ultraviolet Imager	P. Rochus	High-resolution and full-disk EUV imaging of the on-disk corona
METIS	Coronagraph	E. Antonucci	Visible and (E)UV Imaging of the off-disk corona
PHI	Polarimetric & Helioseismic Imager	S. Solanki	High-resolution vector magnetic field, line-of-sight velocity in photosphere, visible imaging
SoloHI	Heliospheric Imager	R. Howard	Wide-field visible imaging of the solar off-disk corona
SPICE	Spectral Imaging of the Coronal Environment	European-led facility instrument	EUV spectroscopy of the solar disk and near-Sun corona
STIX	Spectrometer/Telescope for Imaging X-rays	S. Krucker	Imaging spectroscopy of solar X-ray emission

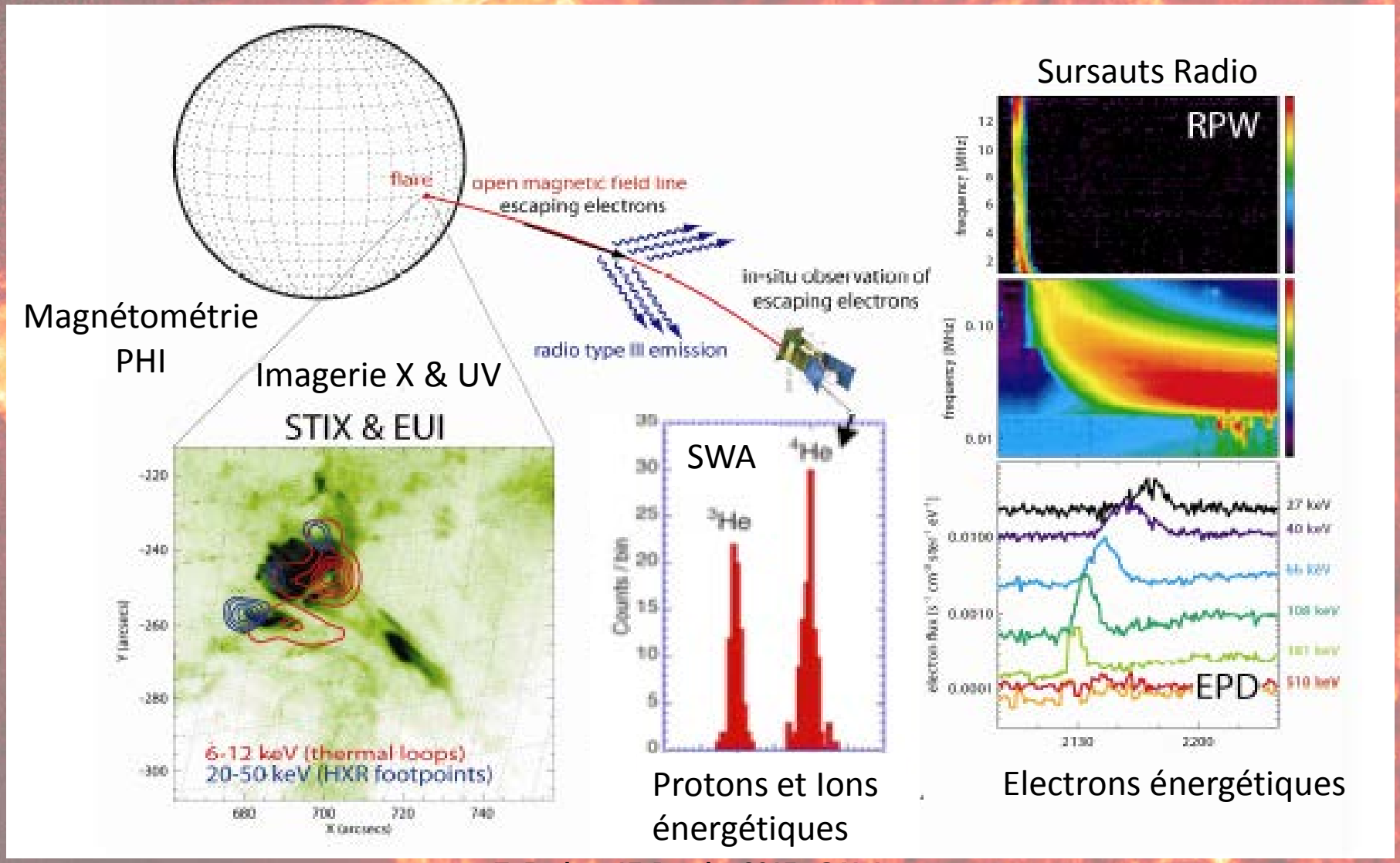
The Spacecraft



Les instruments scientiques



Solar Orbiter
Exploring the Sun-Heliosphere Connection



CONCLUSION

- Solar Orbiter répondra à une question centrale: Comment le Soleil crée et contrôle l'héliosphère
- Solar Orbiter réalisera
  - Des mesures in-situ des paramètres du vent solaire, champ, ondes & particules énergétiques jusqu'à 0.28 AU du Soleil.
  - Des observations simultanées à haute résolution, imagerie & spectroscopie, du Soleil sur et hors de l'écliptique (jusqu'à 34°).
- La combinaison des instruments à distance et in-situ, ajouté au nouveau point de vue dans l'héliosphère interne, distingue Solar Orbiter de toutes les missions qui la précèdent, permettant un programme scientifique unique.

Solar Orbiter STM at Airbus D&S facilities, Stevenage, UK

European Space Agency