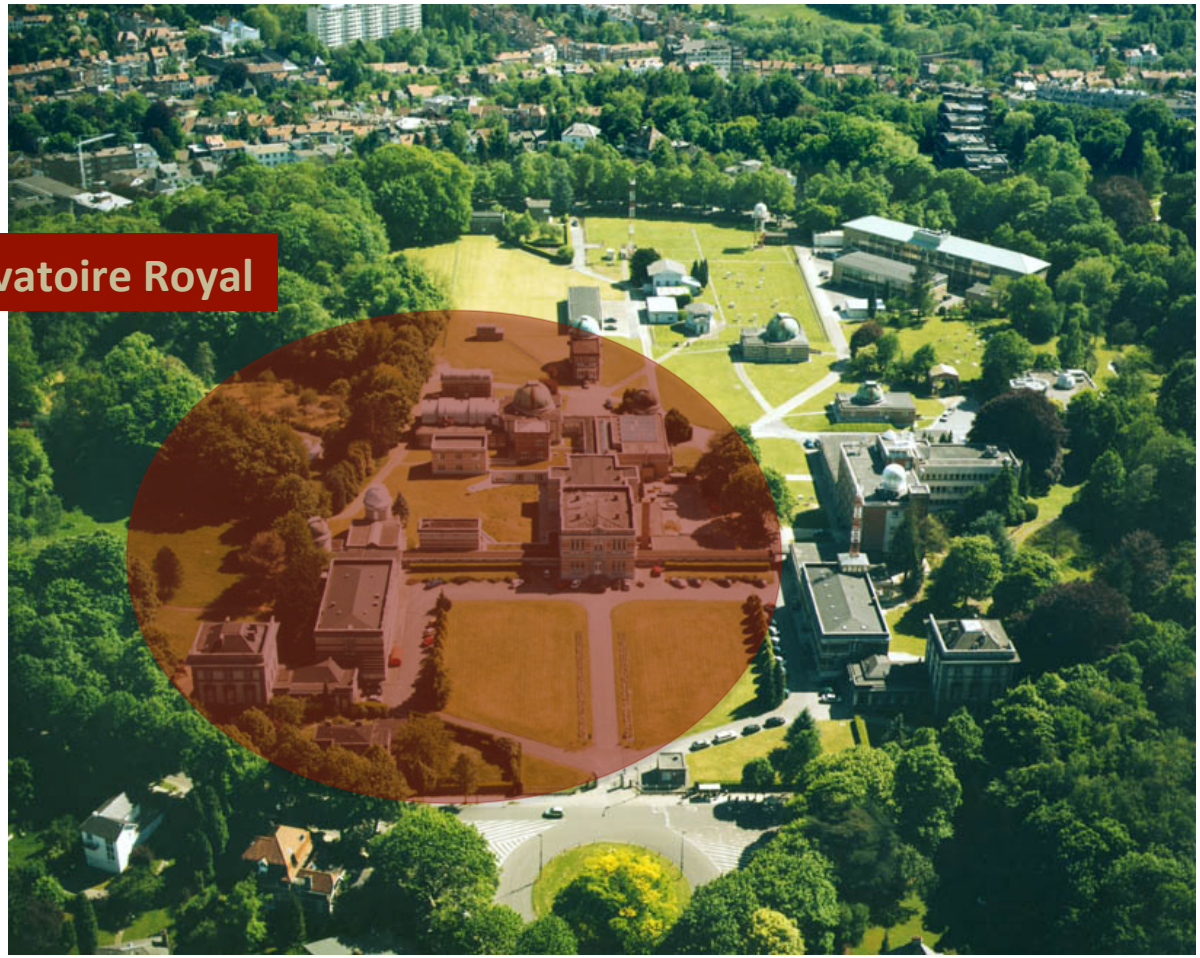
Observatoire Royal de Belgique
Département 4: Physique solaire

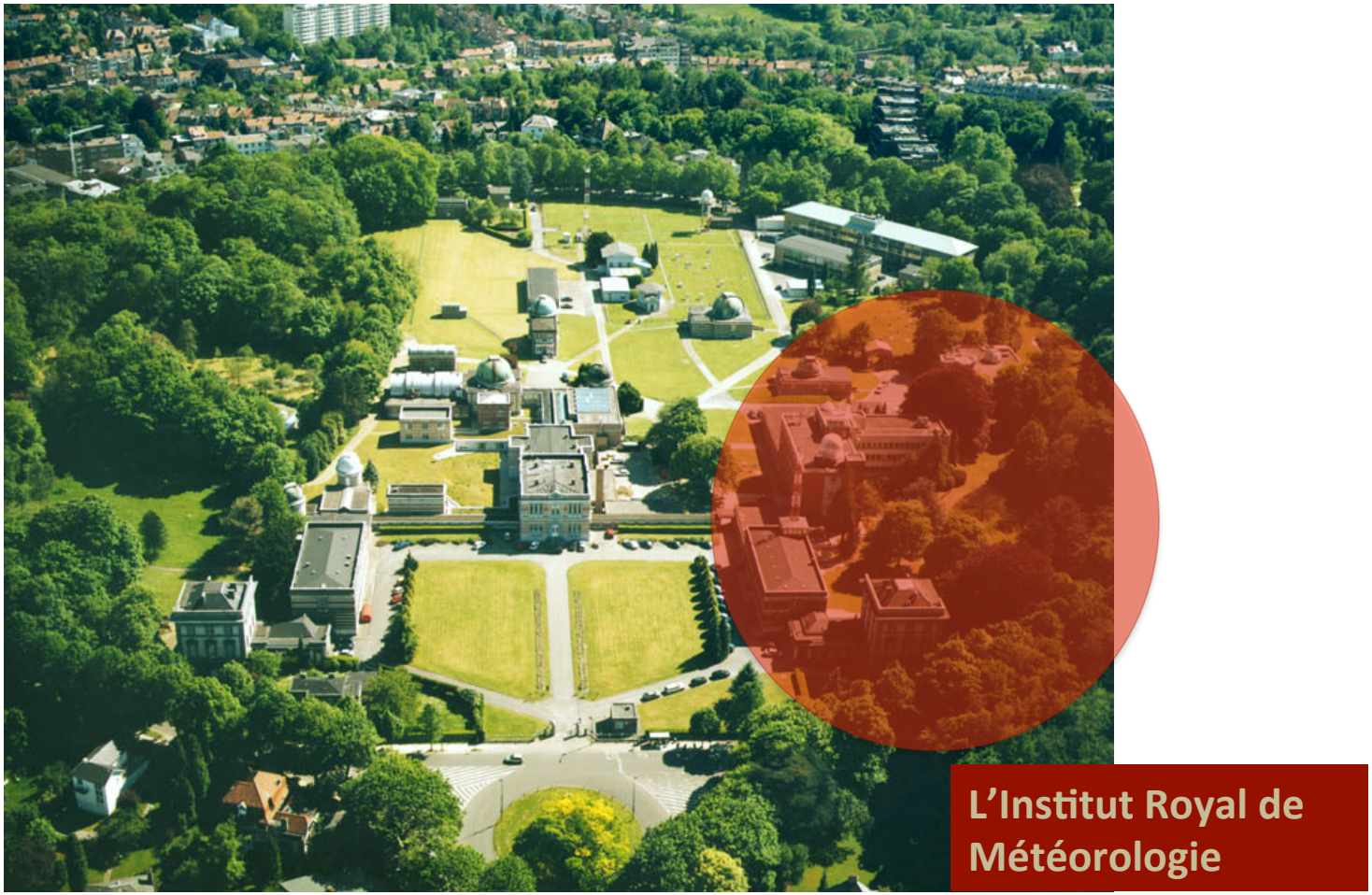
Agenda

- 10h: Overall presentation of the department activities and basis of solar physics
  - Marie Dominique: marie.dominique@oma.be
  - Francis Verbeeck: cis.verbeeck@oma.be
- 11h10: Presentation of the SSCC
- 11h30: Space weather briefing
- lunch from 12h15 to 13h15
- 13h15: Visit of the Dome – O. Lemaître, L. Lefevre
- 14h15: Visit of the Proba2 operation room – L. Wauters
- 15h00: Conception of a new space mission – L. Dolla
- 15h30: Visit of a laboratory for optical characterization – B. Giordanengo
- 16h00 End of the day

Situé à Uccle, Bruxelles



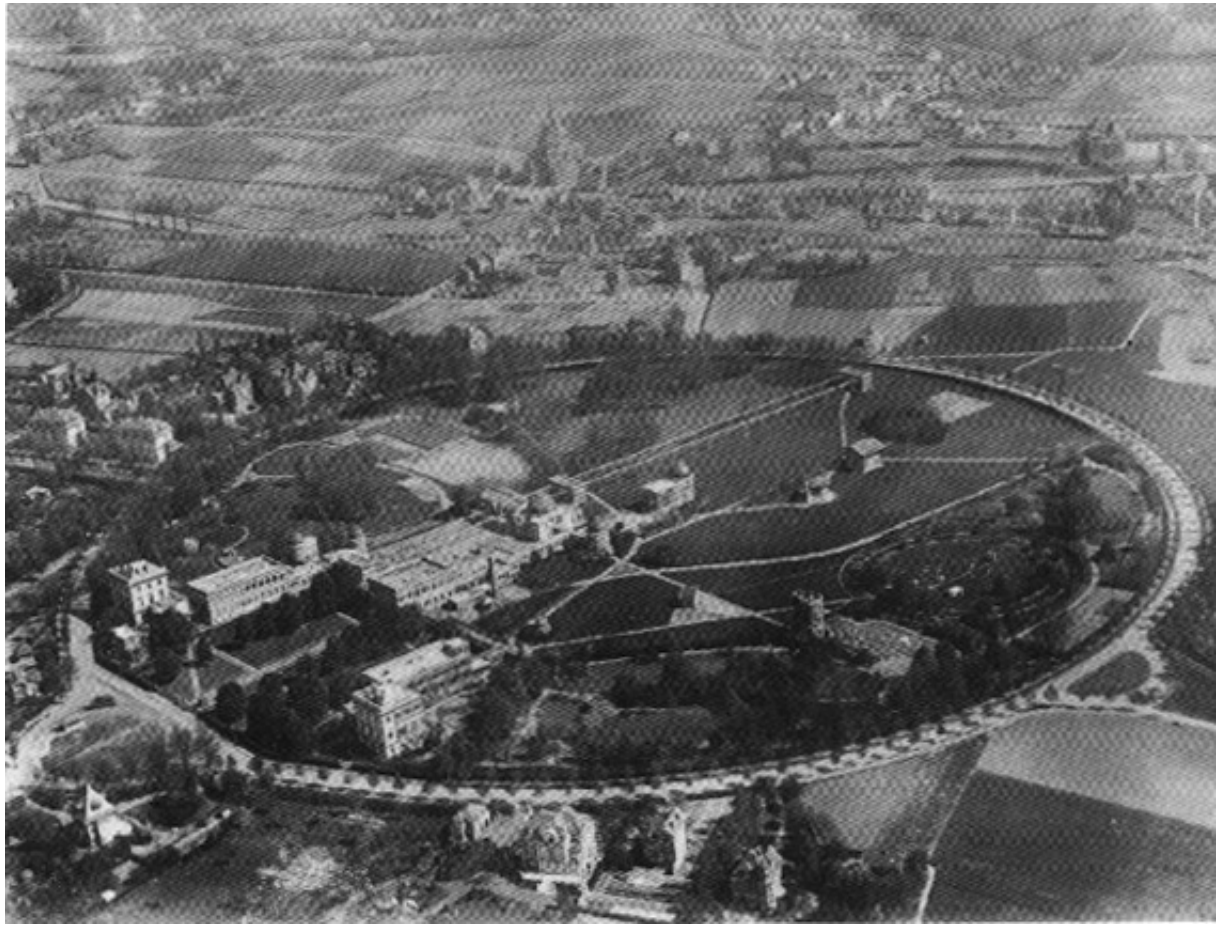
Situé à Uccle, Bruxelles



Situé à Uccle, Bruxelles

Il était une fois …

- L’Observatoire est né “Observatoire des Pays-Bas” en 1827.



Structure de l'ORB

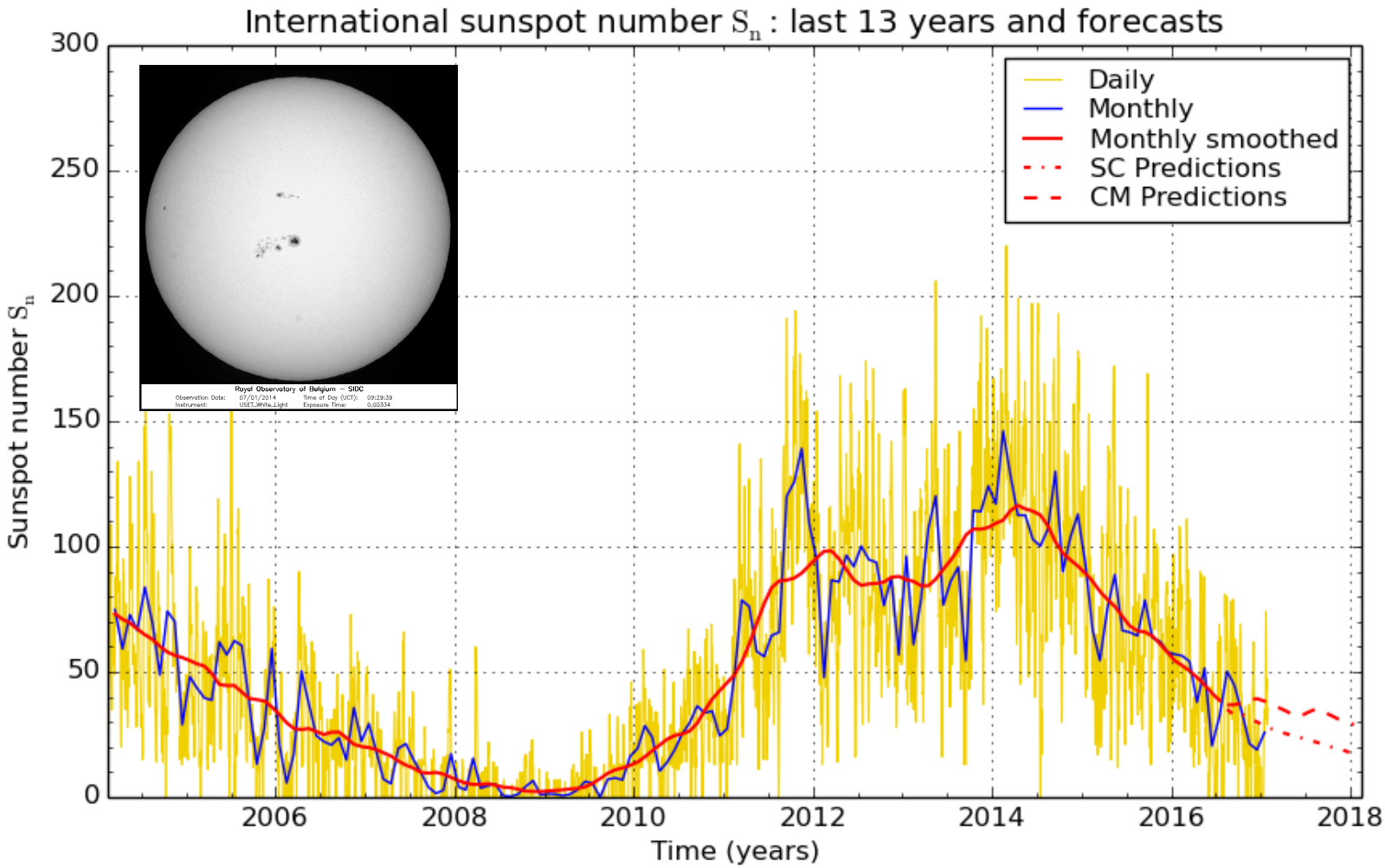
- Quatre départements:
  - Systèmes de référence et Planétologie
  - Séismologie et Gravimétrie
  - Astronomie et Astrophysique
  - Physique solaire et Météorologie spatiale

- Un planétarium

Principales activités du département de physique solaire

- Recherche fondamentale
- Monitoring de l'activité solaire
  - Produit phare: le nombre international de taches solaires
  - La productions de bulletins quotidiens, hebdomadaires et mensuels
  - L'émission d'alertes en cas d'évènement solaire majeur
  - Les prévisions de météo spatiale
- Observations du soleil depuis le sol et par satellite
- Développement de nouveaux instruments
- Activités éducatives

The international sunspot number



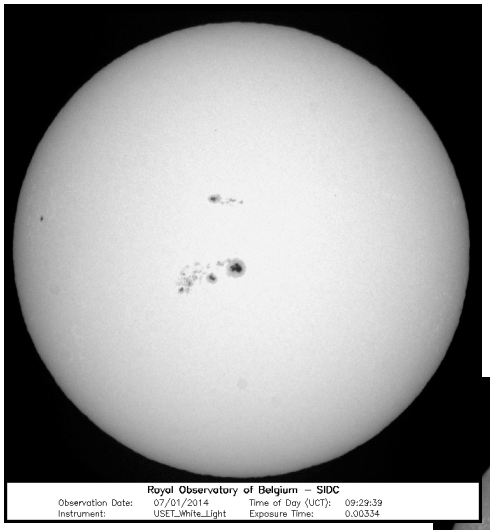
SILSO graphics (http://sidc.be/silso) Royal Observatory of Belgium 2017 February 1

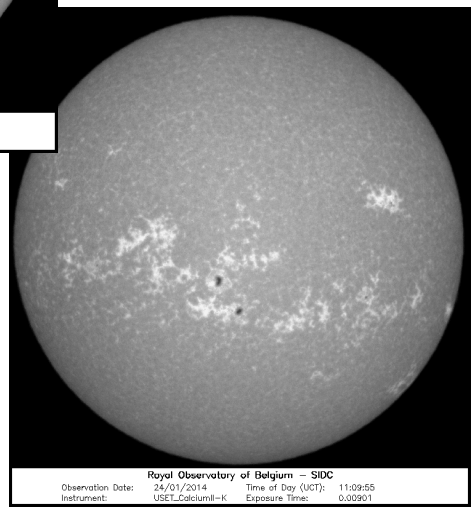
Principales activités du département de physique solaire

- Recherche fondamentale
- Monitoring de l'activité solaire
  - Produit phare: le nombre international de taches solaires
  - La productions de bulletins quotidiens, hebdomadaires et mensuels
  - L'émission d'alertes en cas d'évènement solaire majeur
  - Les prévisions de météo spatiale
- Observations du soleil depuis le sol et par satellite
- Développement de nouveaux instruments
- Activités éducatives

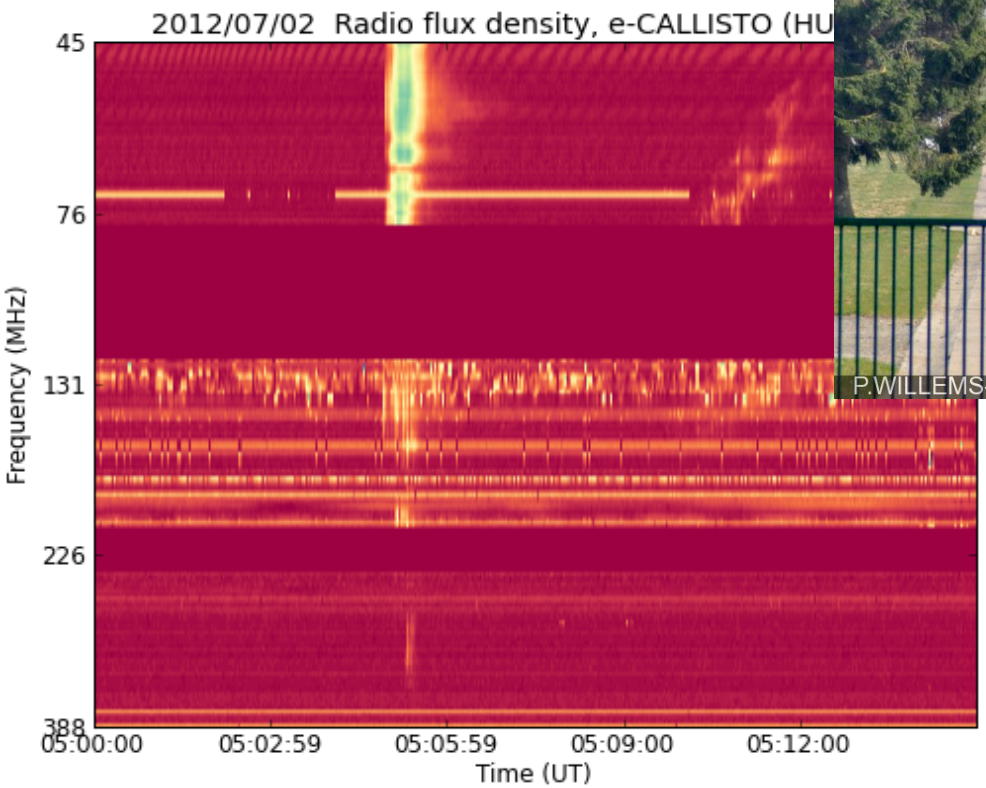
Observations au sol

USET (Uccle):
Observations en lumière blanche, CaII and H alpha
Dessin et comptage des taches solaires





Observations au sol



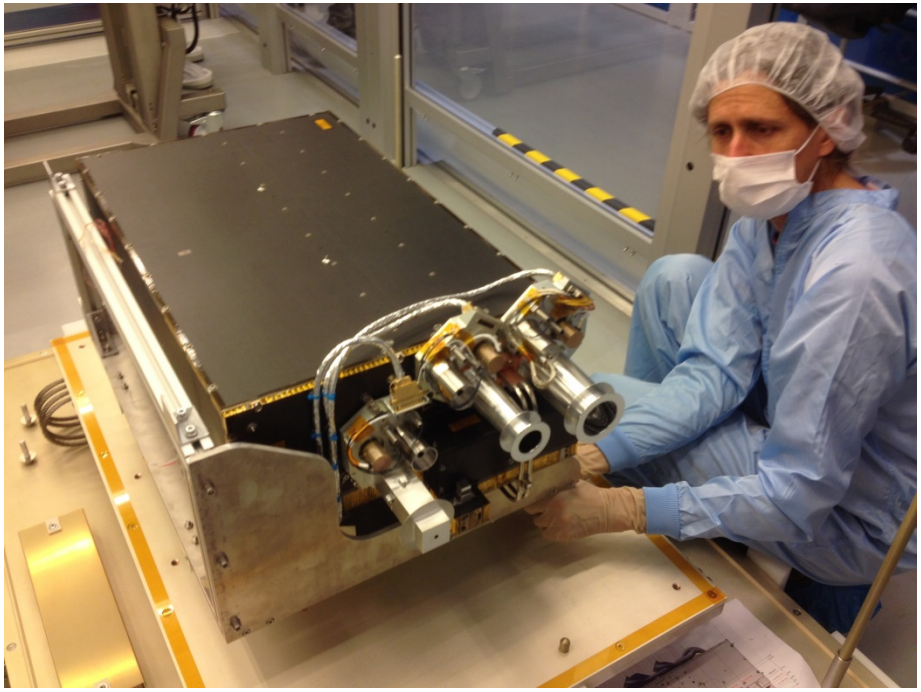
Observations depuis l'espace

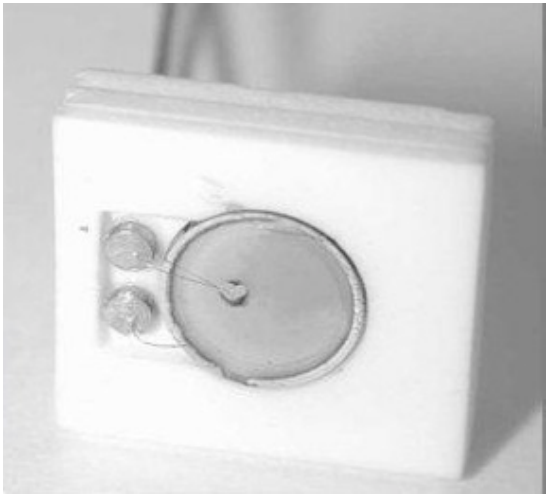
PROBA2:
Observation dans l'extrême ultraviolet

Principales activités du département de physique solaire

- Recherche fondamentale
- Monitoring de l'activité solaire
  - Produit phare: le nombre international de taches solaires
  - La productions de bulletins quotidiens, hebdomadaires et mensuels
  - L'émission d'alertes en cas d'évènement solaire majeur
  - Les prévisions de météo spatiale
- Observations du soleil depuis le sol et par satellite
- Développement de nouveaux instruments
- Activités éducatives

Développement de nouvelles technologies pour l'observation





Principales activités du département de physique solaire

- Recherche fondamentale
- Monitoring de l'activité solaire
  - Produit phare: le nombre international de taches solaires
  - La productions de bulletins quotidiens, hebdomadaires et mensuels
  - L'émission d'alertes en cas d'évènement solaire majeur
  - Les prévisions de météo spatiale
- Observations du soleil depuis le sol et par satellite
- Développement de nouveaux instruments
- Activités éducatives

Et bientôt …

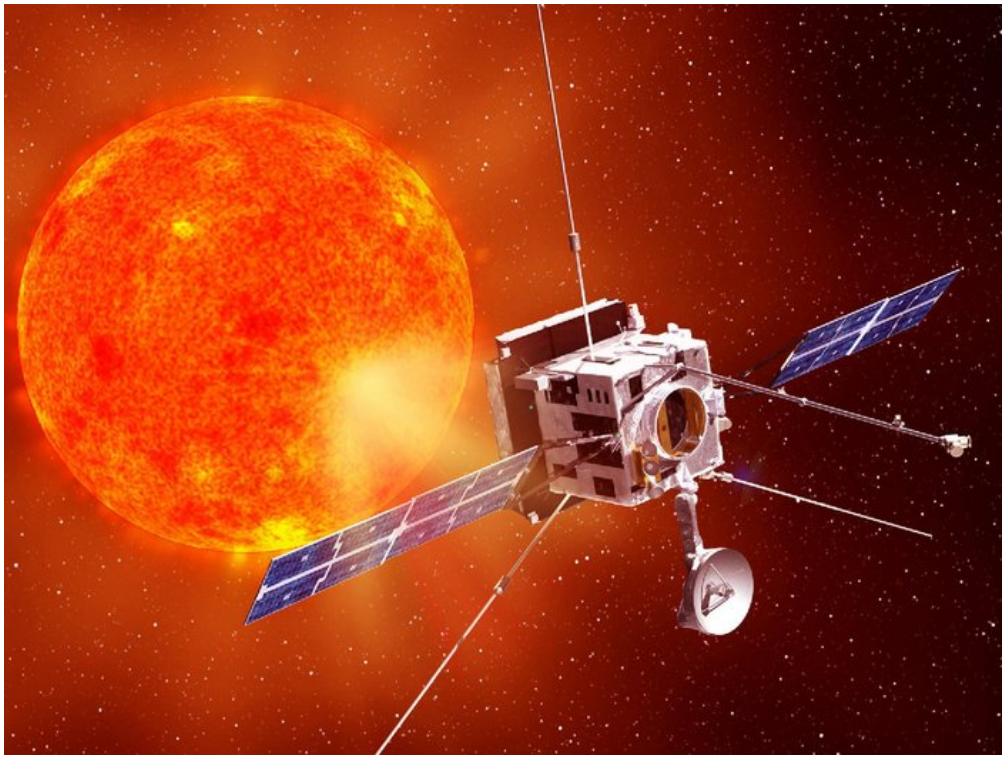
PROBA3/ASPIICS:
observation de la couronne en lumière blanche – vol en formation

Lancement prévu: 2020

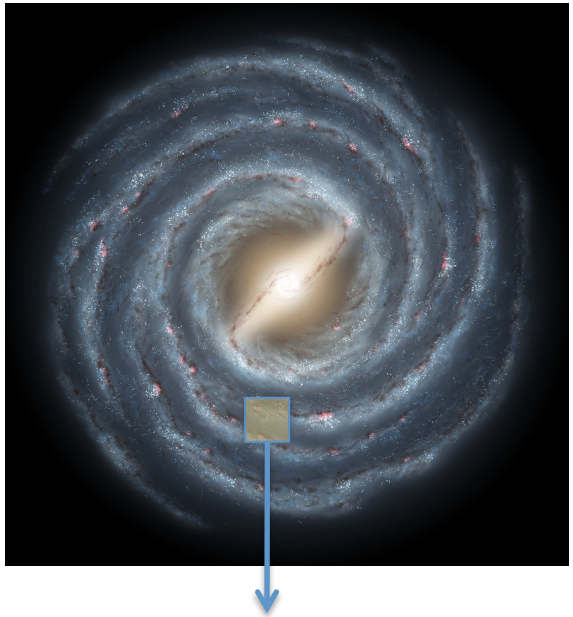
Et bientôt …

Solar Orbiter/EUI: observation de la couronne dans l'extrême-UV

Lancement prévu: 2020



Fiche signalétique du soleil

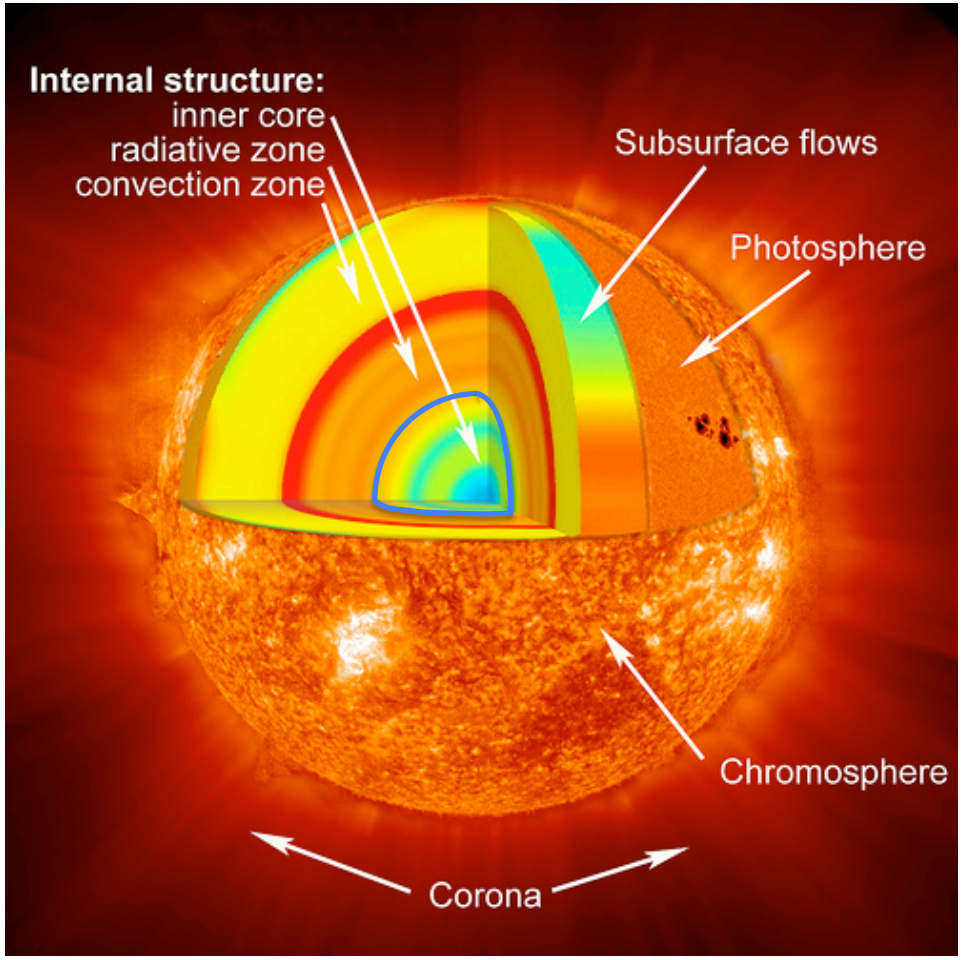


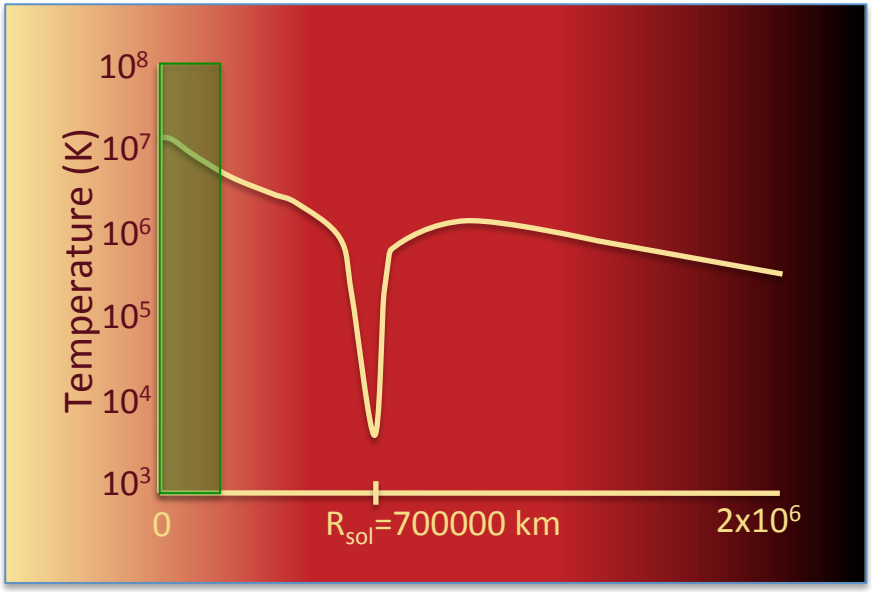
- Étoile naine jaune "ordinaire", de type G2
- Située dans le disque galactique à 27000 AL du centre de la Voie Lactée

Source: NASA/JPL-Caltech/R. Hurt (SSC)

Distance moyenne à la terre	149,6 Million km ≈ 210 RE
Rayon solaire	696,000 km ≈ 109 RE
Masse	1.989×10^{30} kg ≈ 333,000 ME
Volume	1.412×10^{27} m^3 (1.3 Mill. Earth)
Densité du noyau	151300 kg m^{-3}
Densité moyenne	1409 kg m^{-3}
Pression dans le noyau	2.334×10^{11} bar
Pression en surface	0.0001 bar
Température en surface	5780 K
Age Espérance de vie	4.5 milliards d'années 10 milliards d'années
Luminosité	3.854×10^{26} J s^{-1}
"Constante" solaire	1367 W/m^2 (variation 0.1%)
Composition de la photosphère	78% H 20% He
Période de rotation	25j (équateur) – 33j (pôles)

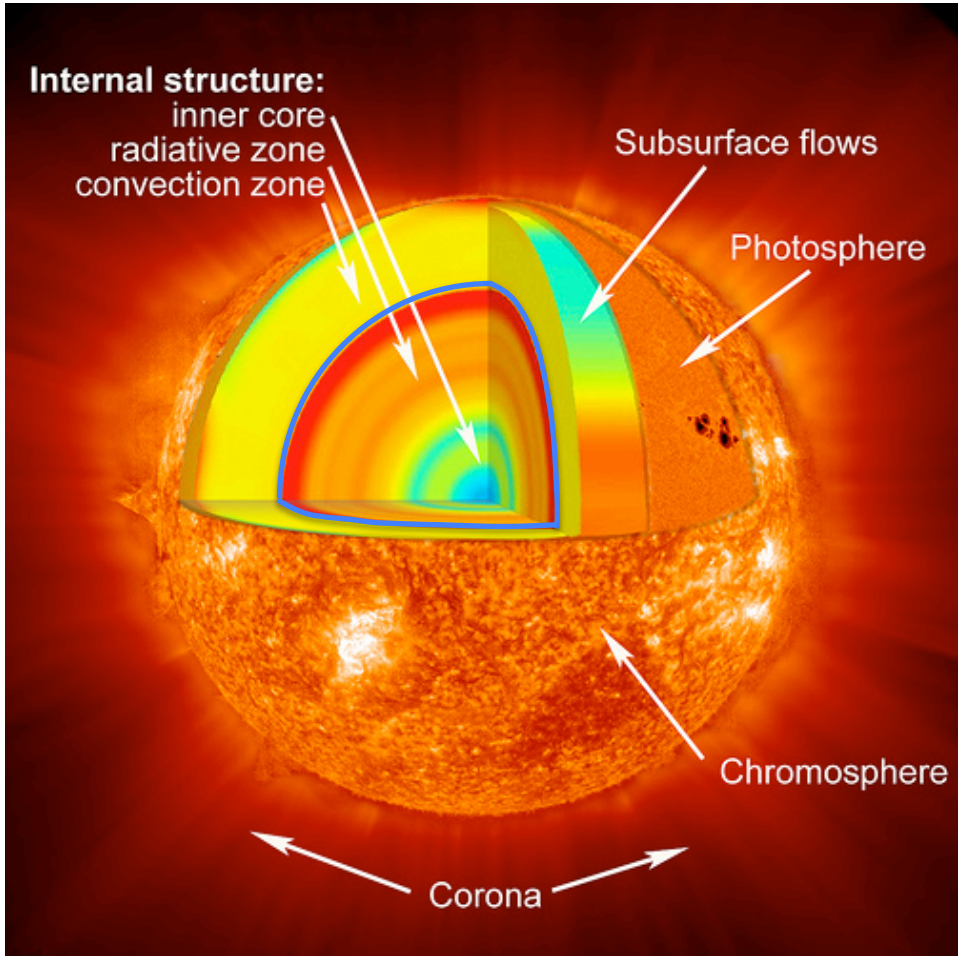
Le soleil, couche par couche.

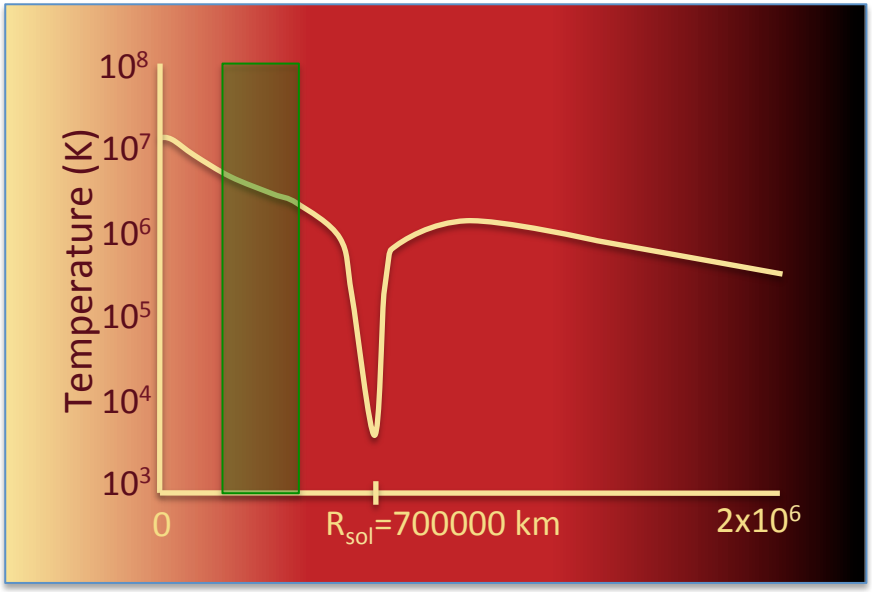




Source : SIDC, Kitt Peak, SOHO

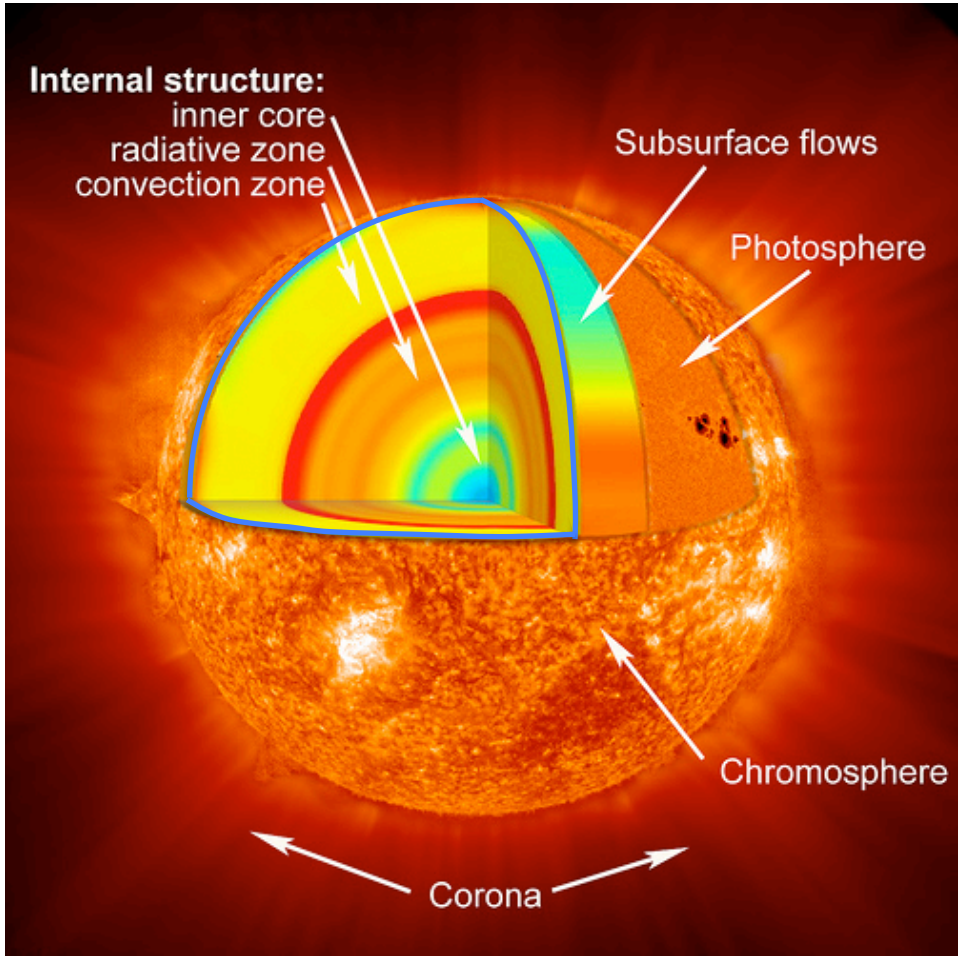
Le soleil, couche par couche.

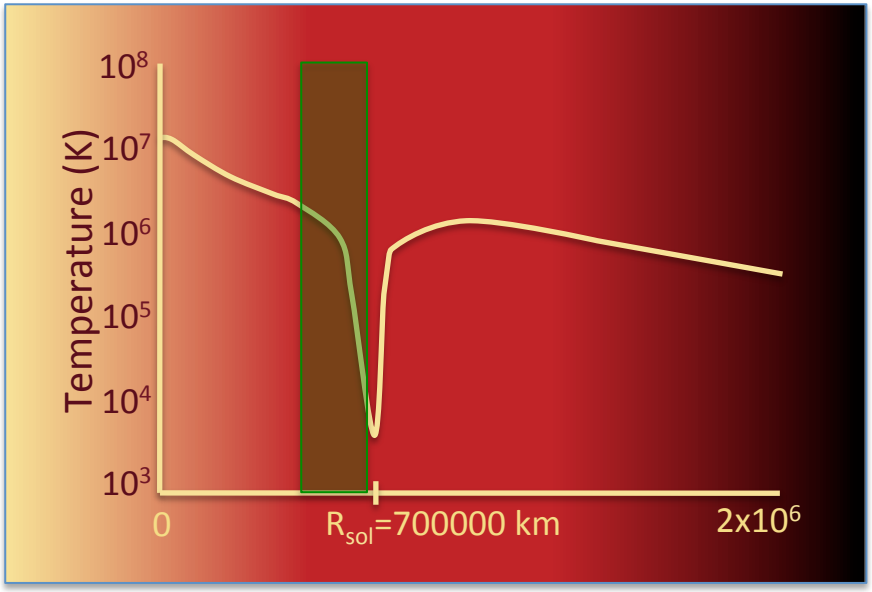




Source : SIDC, Kitt Peak, SOHO

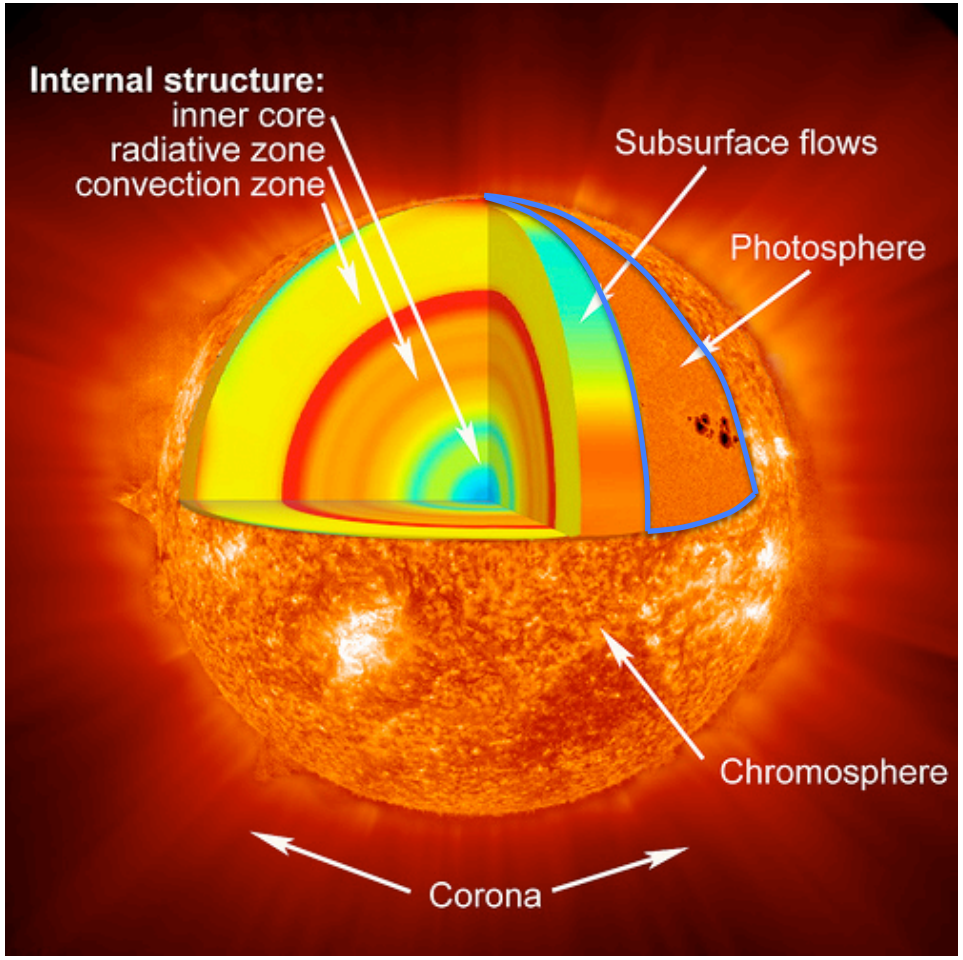
Le soleil, couche par couche.

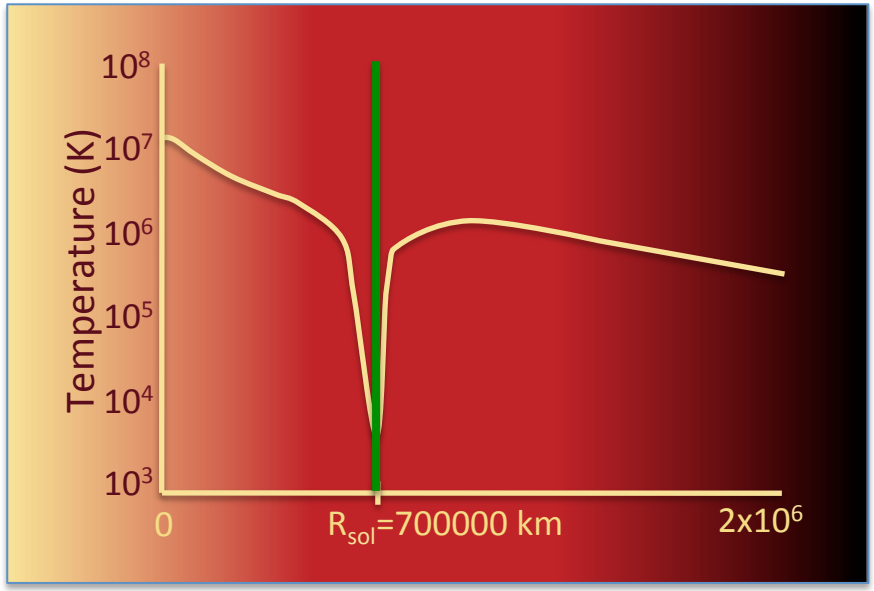


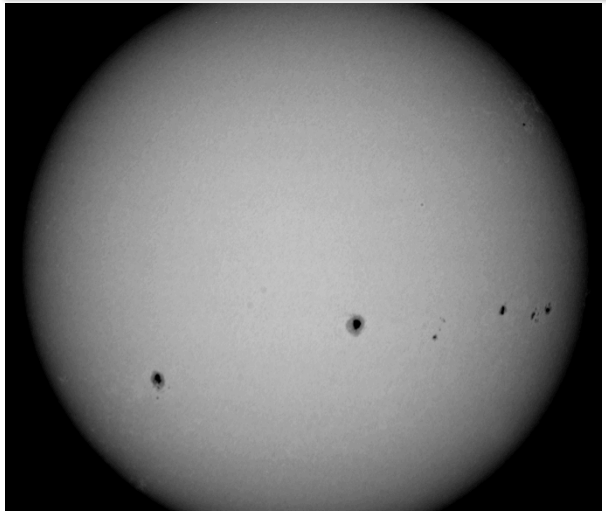


Source : SIDC, Kitt Peak, SOHO

Le soleil, couche par couche.

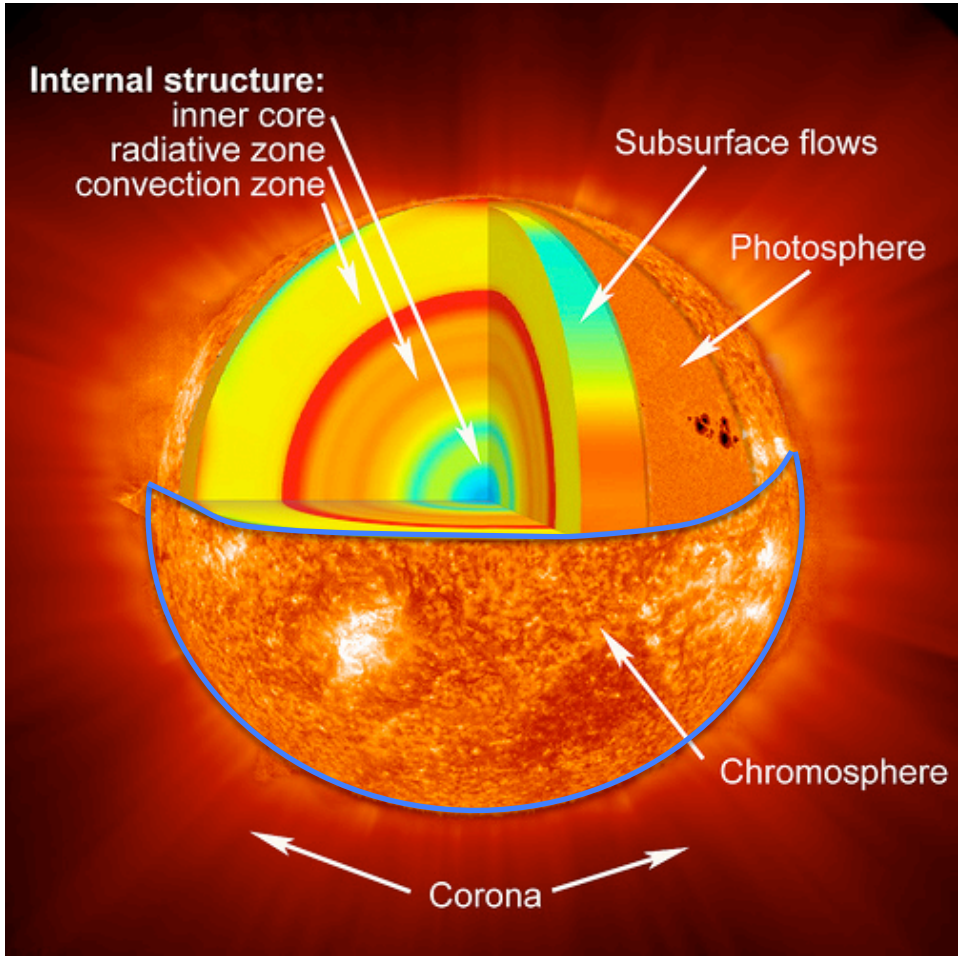


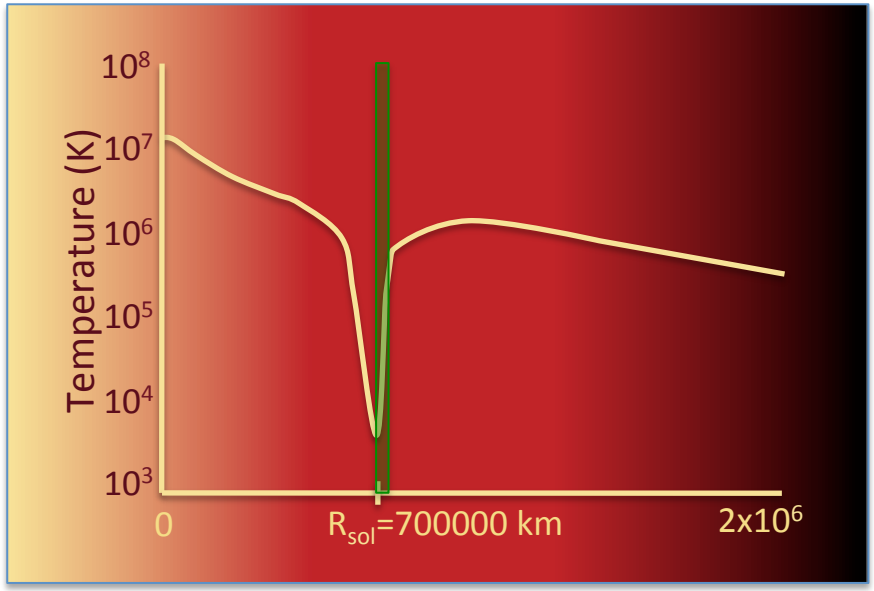


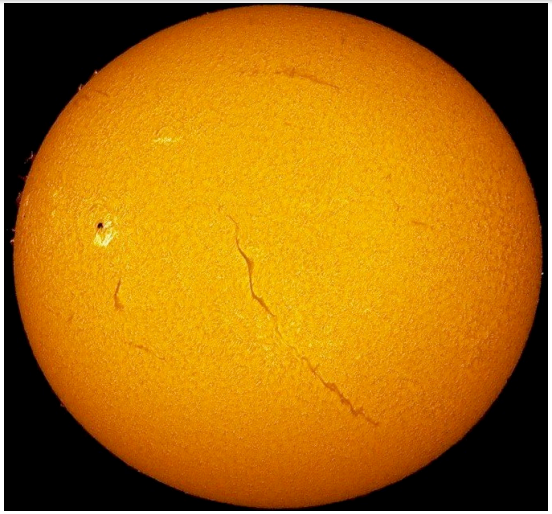


Source : SIDC, Kitt Peak, SOHO

Le soleil, couche par couche.

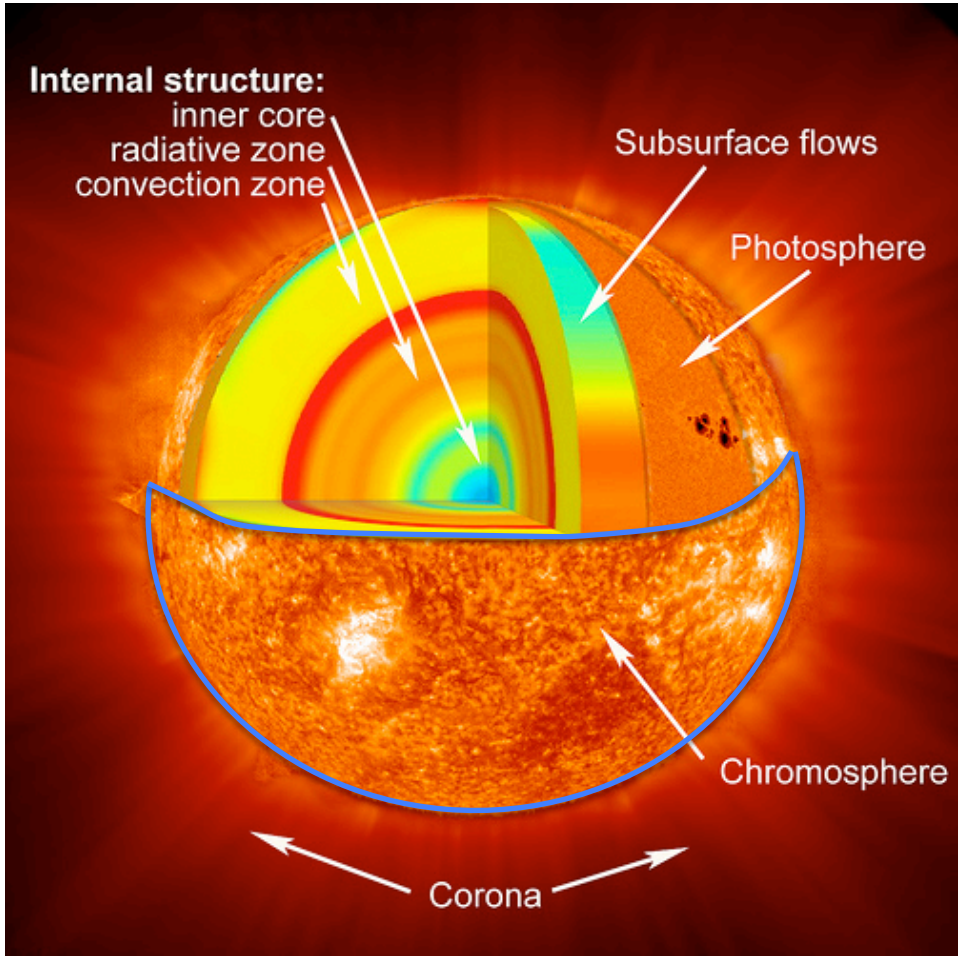


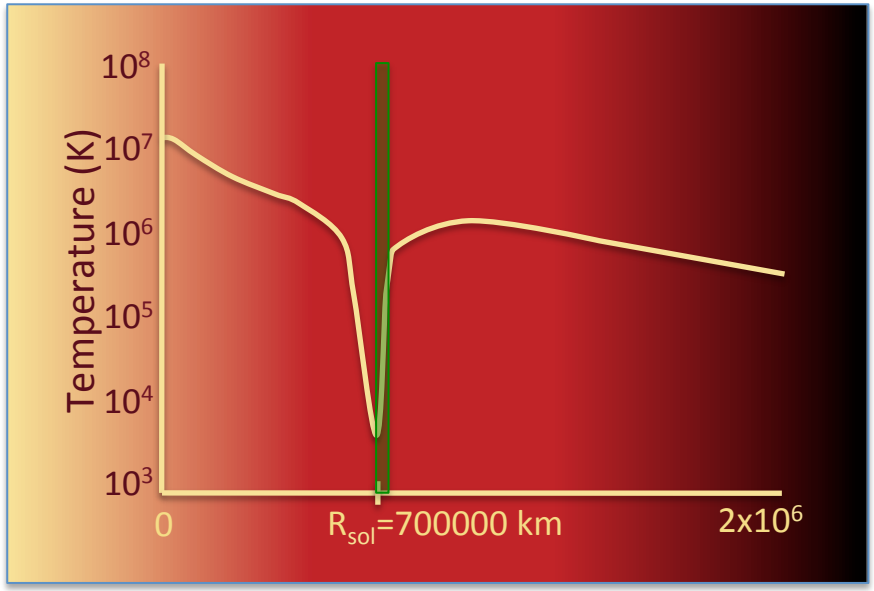


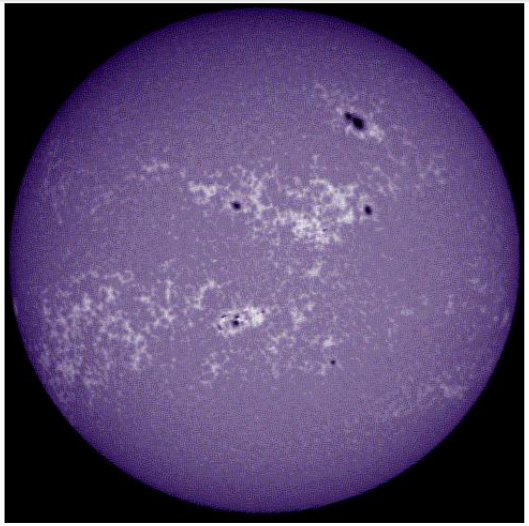


Source : SIDC, Kitt Peak, SOHO

Le soleil, couche par couche.

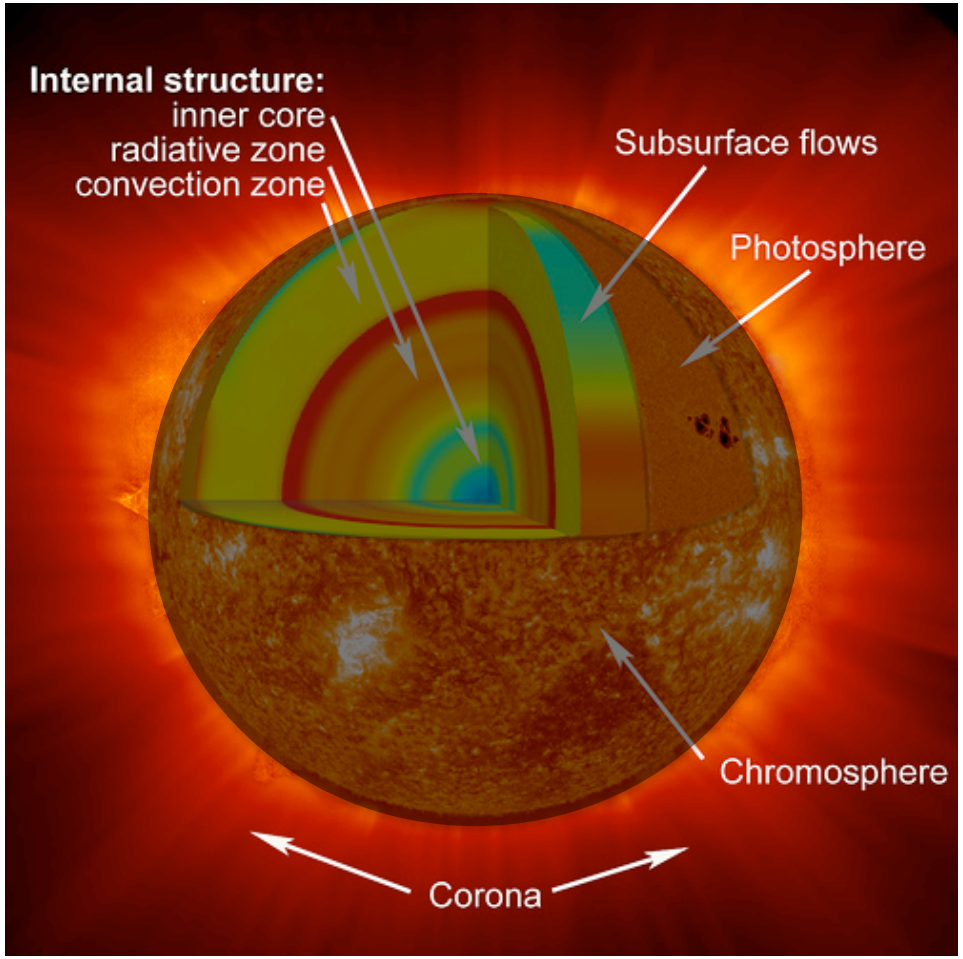


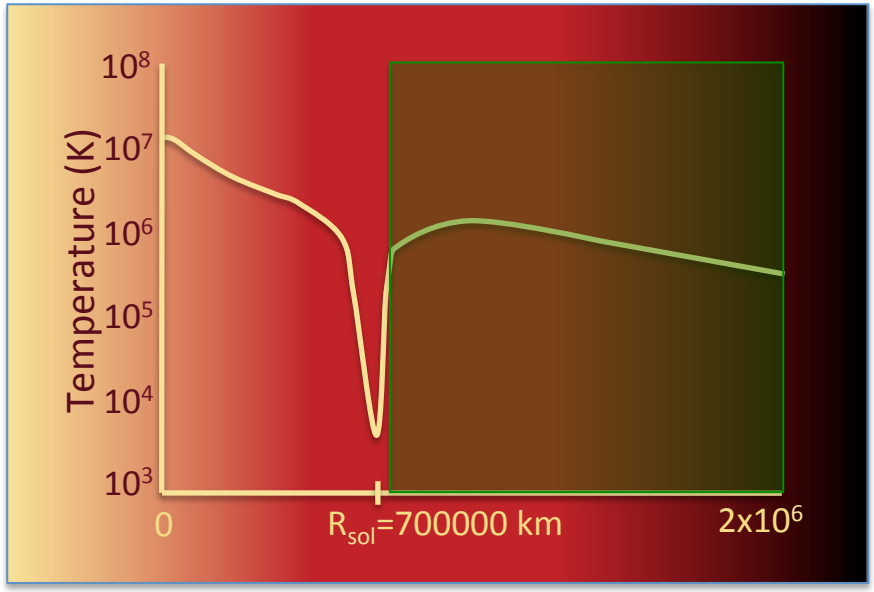


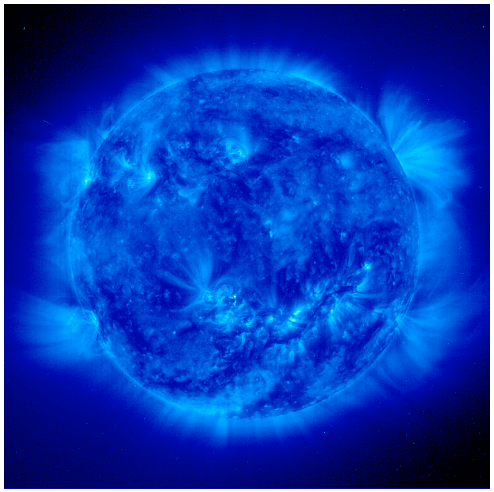


Source : SIDC, Kitt Peak, SOHO

Le soleil, couche par couche.



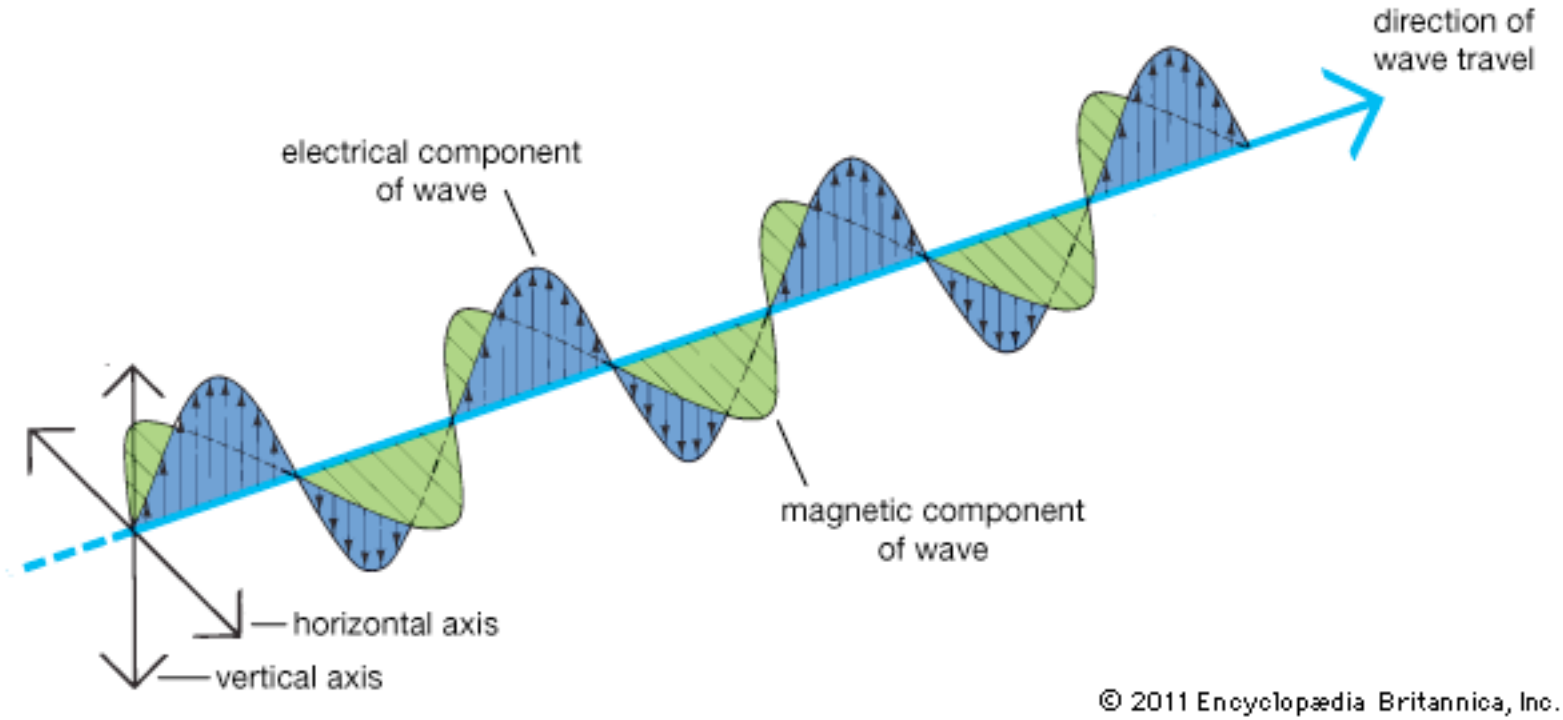




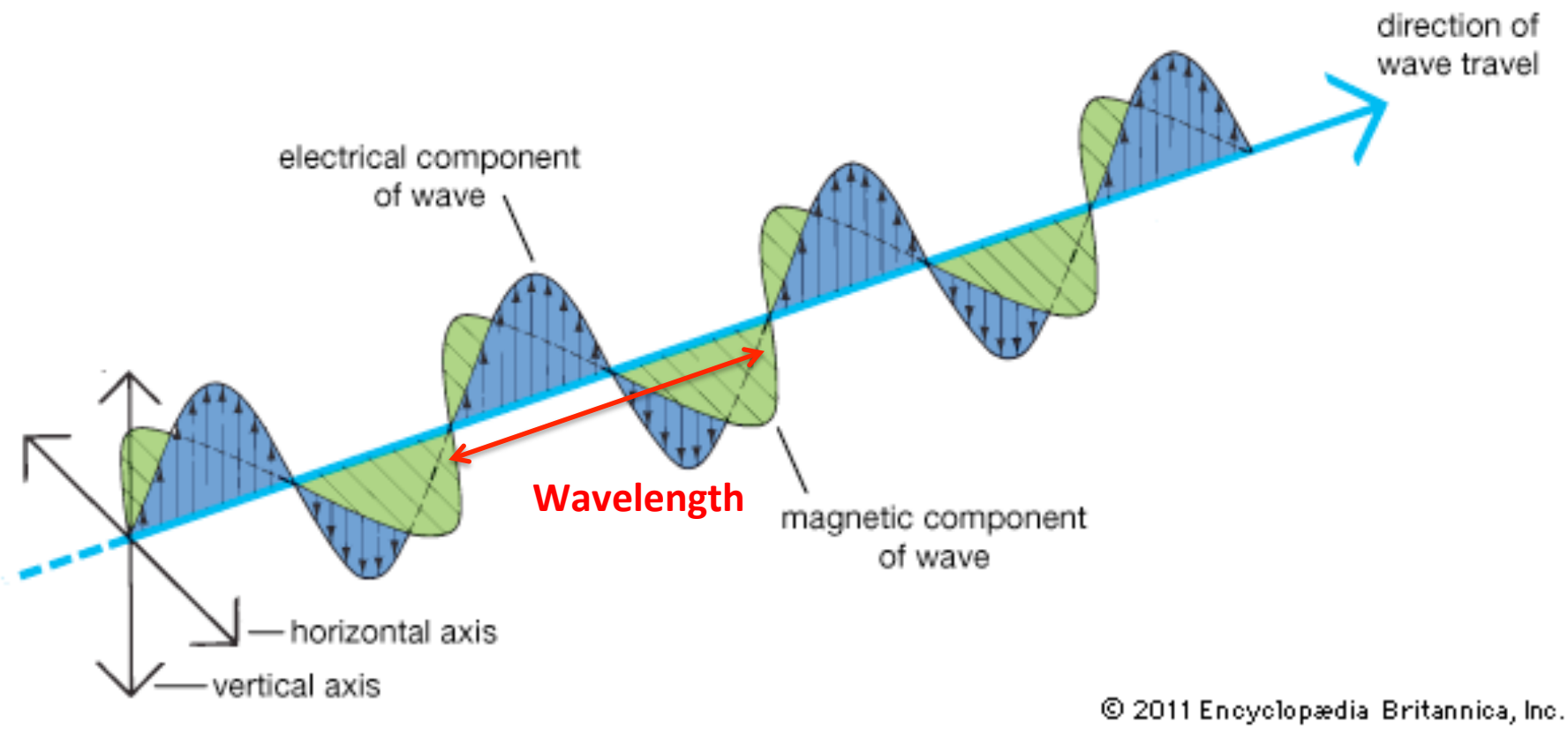
Source : SIDC, Kitt Peak, SOHO

The light: a few reminders

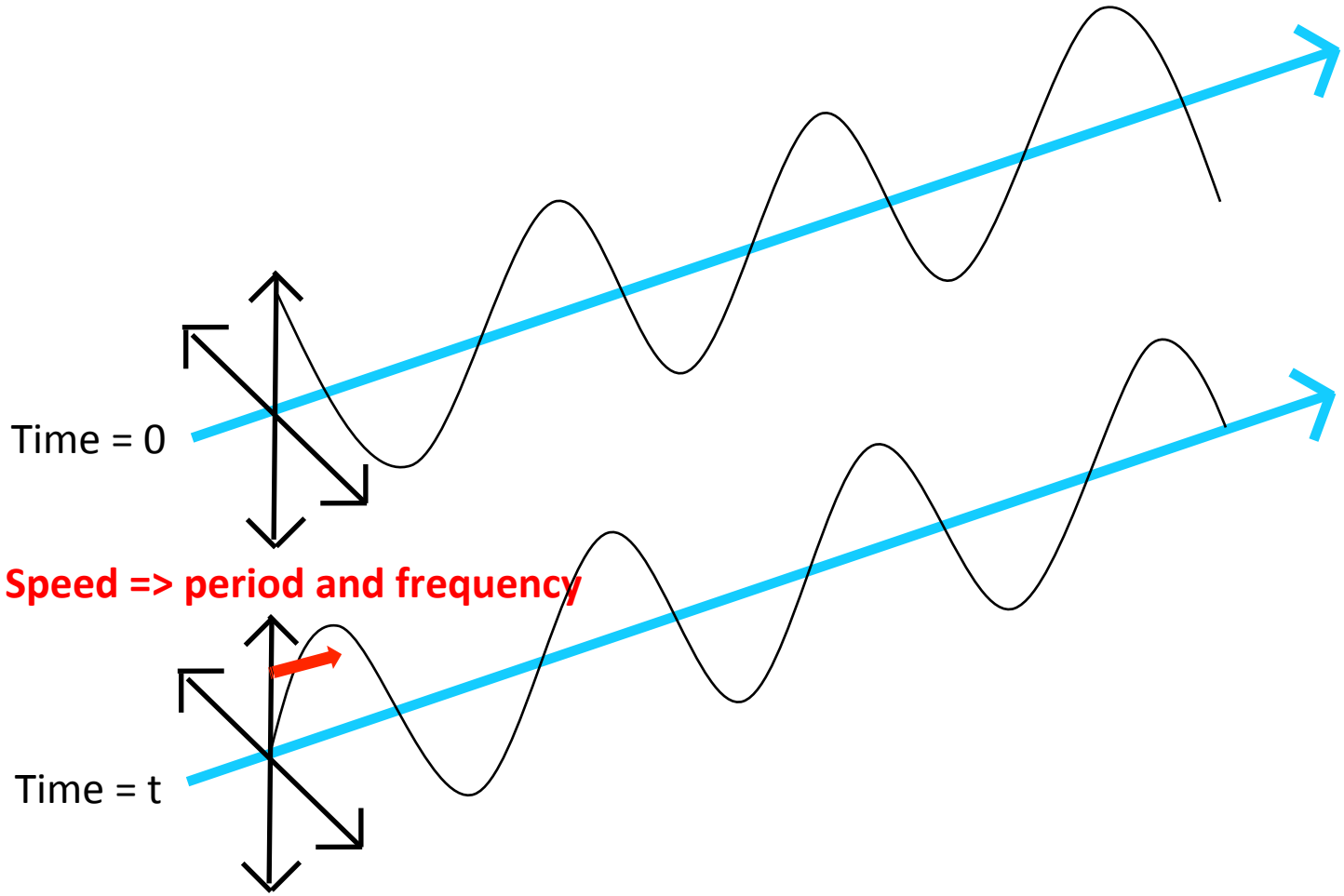
- The “light” is a (sum of) electromagnetic wave(s) => growth and collapse of electrical and magnetic fields, in planes perpendicular to the direction of



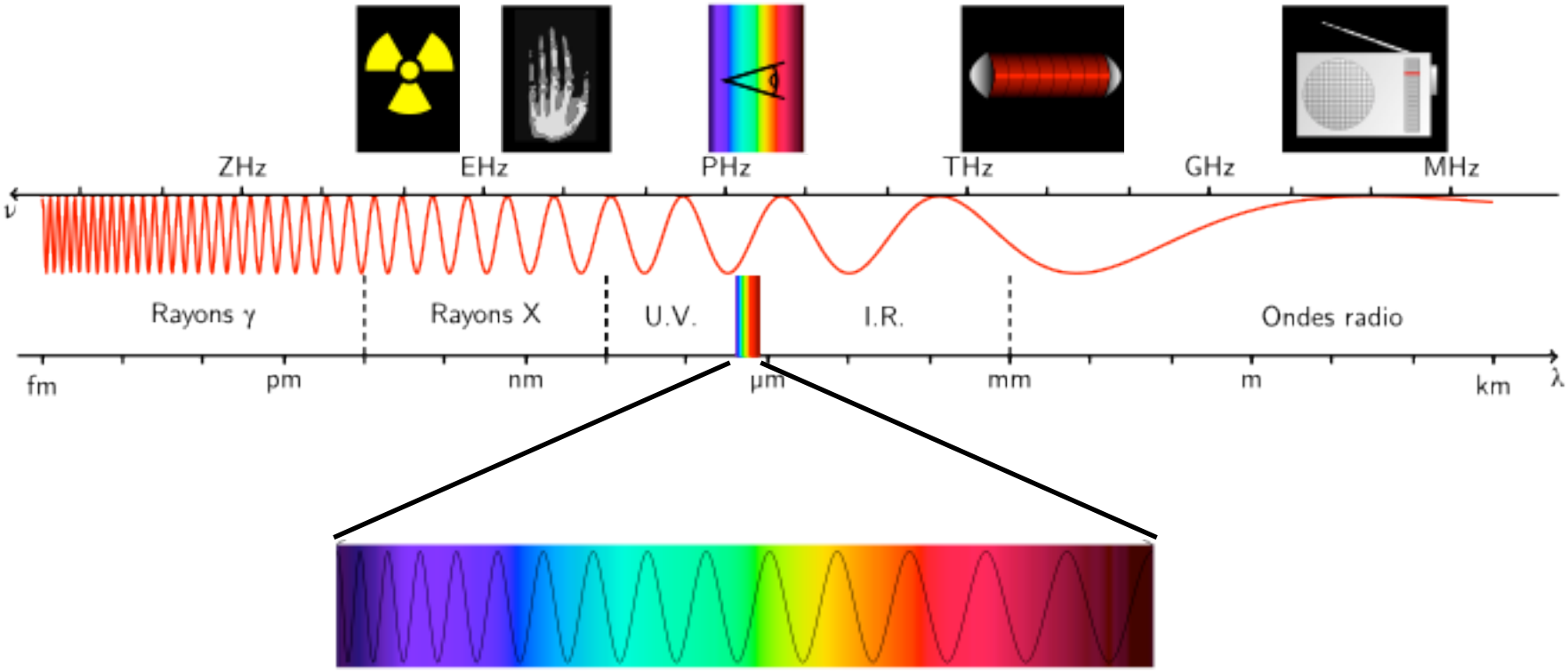
The light: a few reminders



The light: a few reminders

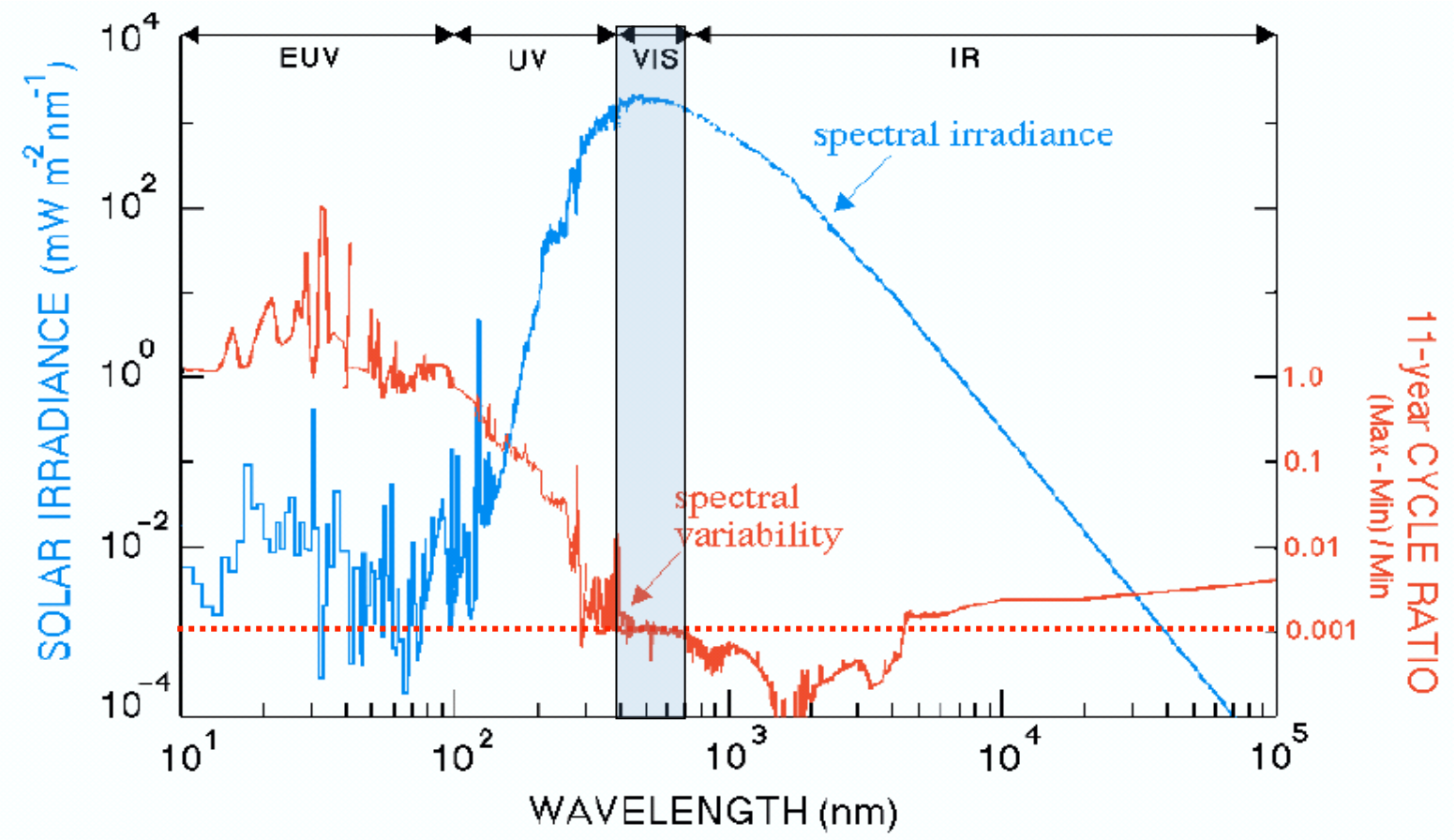


Le spectre du soleil

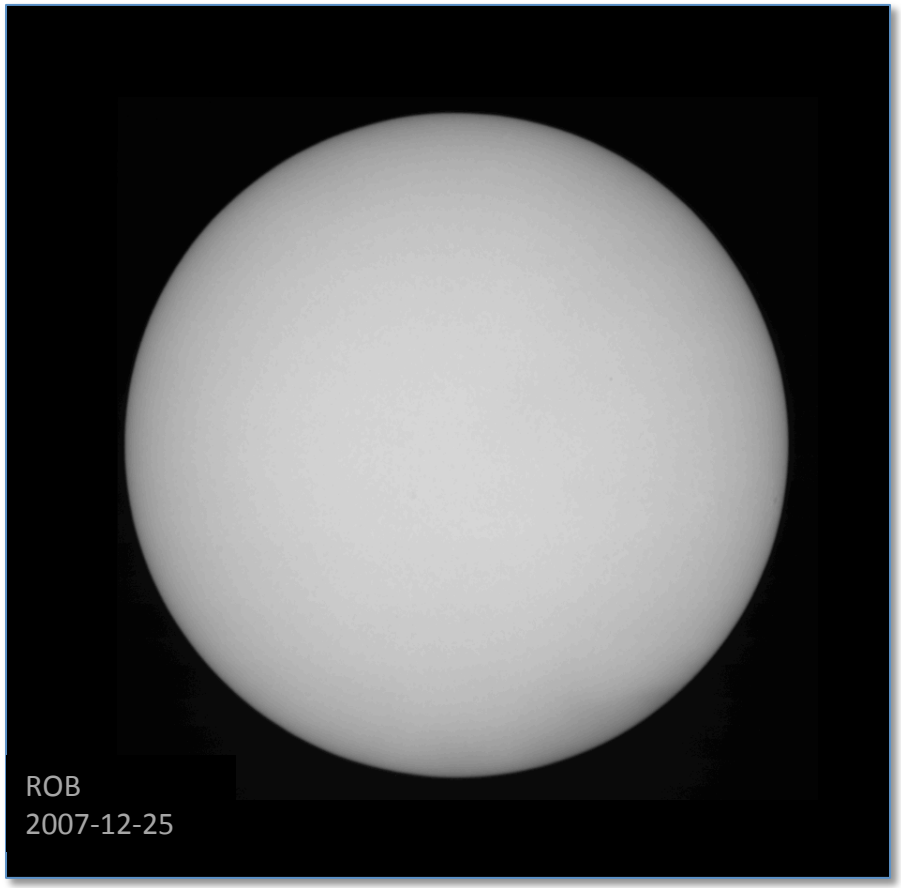


Éclairement spectral et sa variation

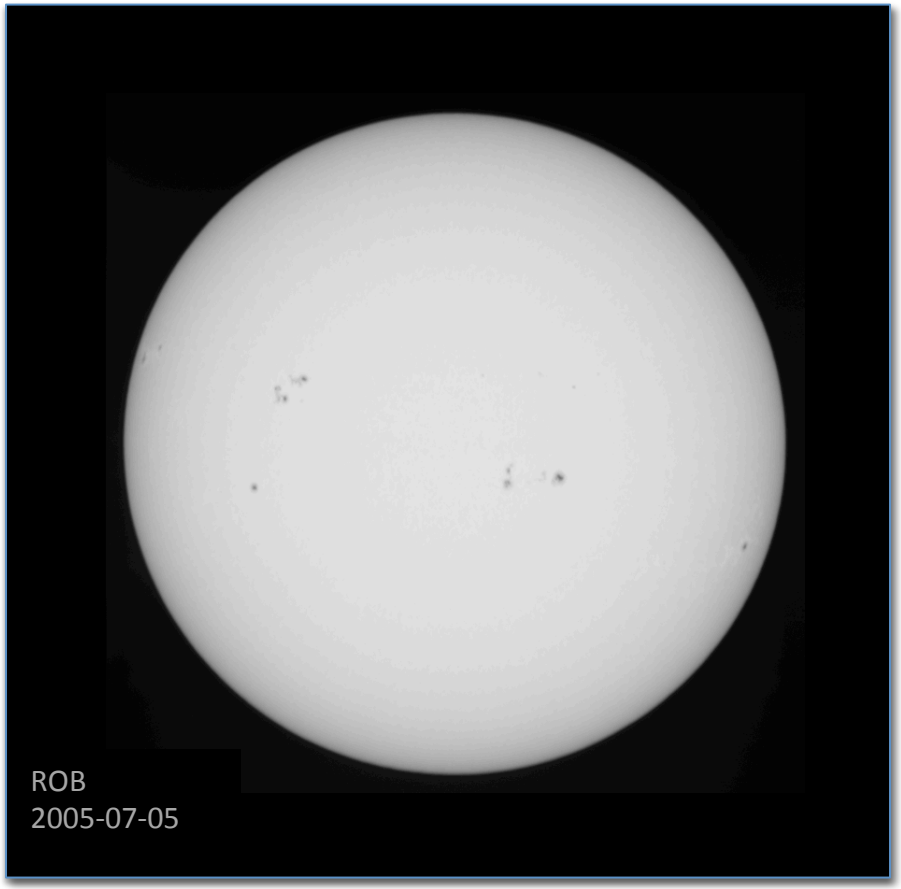
- Variabilité très élevée en dessous de 320 nm (facteurs 10 à 1000)
  - 2% du rayonnement total
  - Rayonnement très important pour l'aéronomie



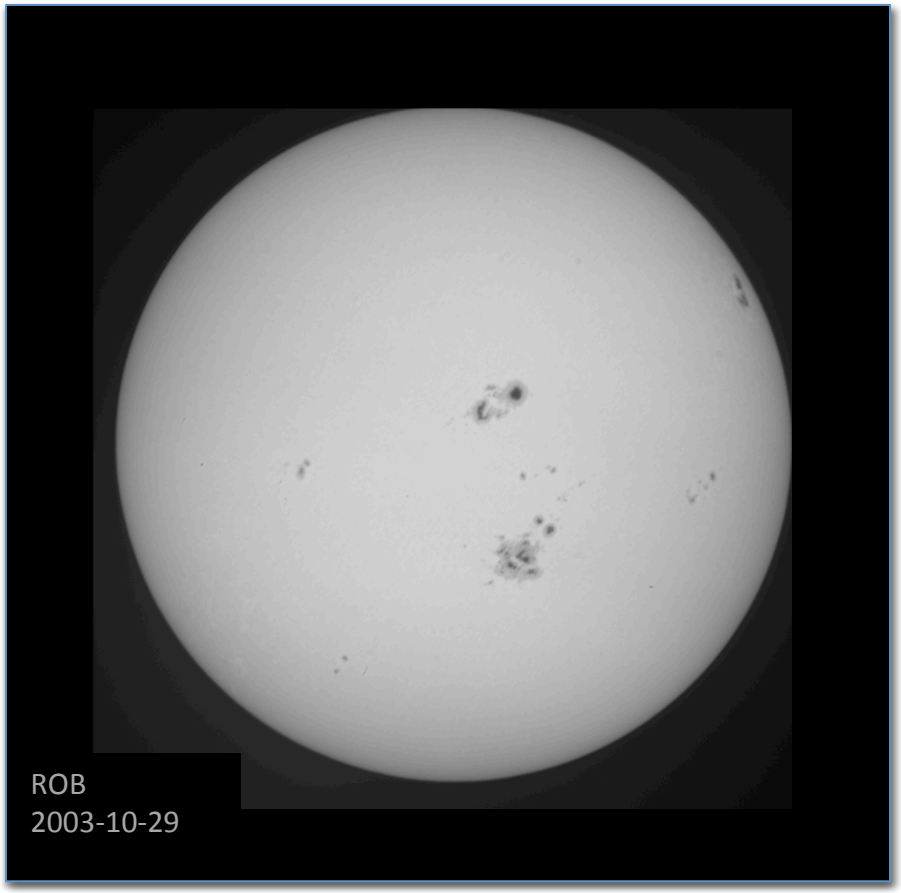
Le soleil observé dans le visible



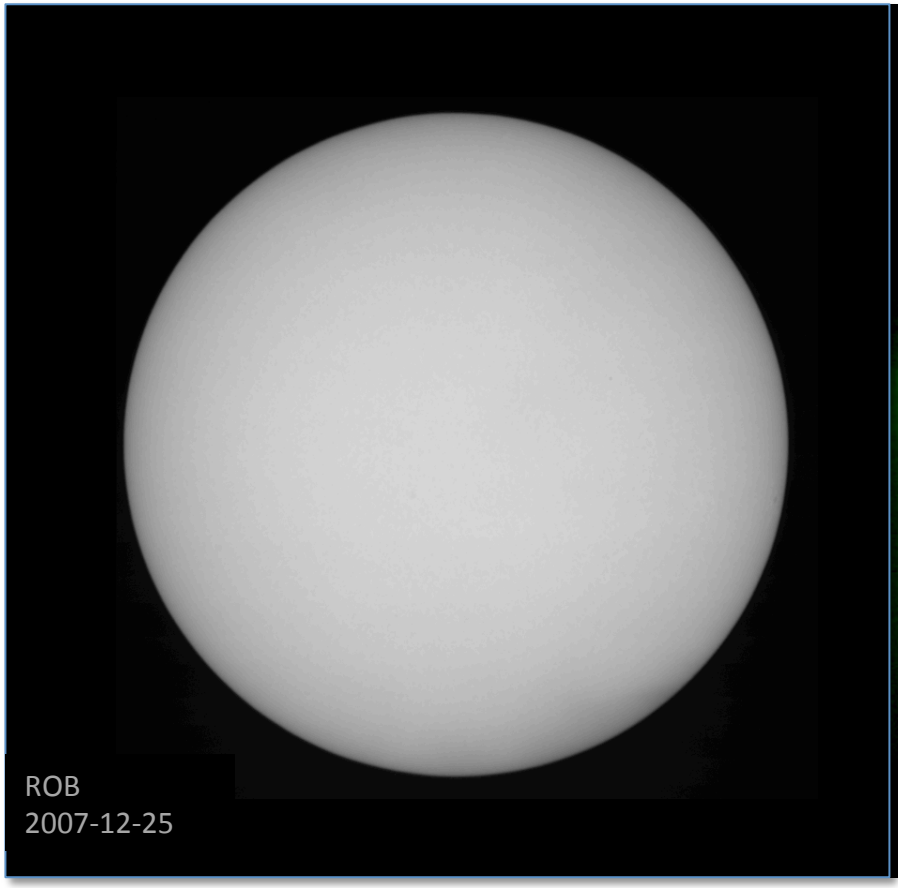
Le soleil observé dans le visible

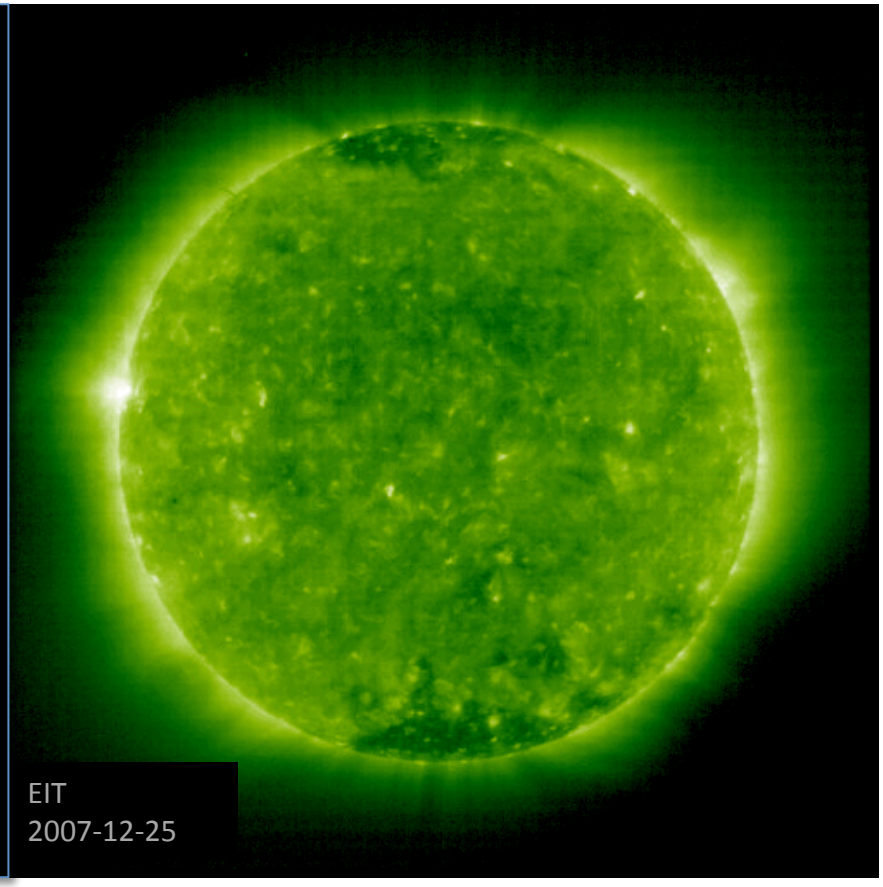


Le soleil observé dans le visible

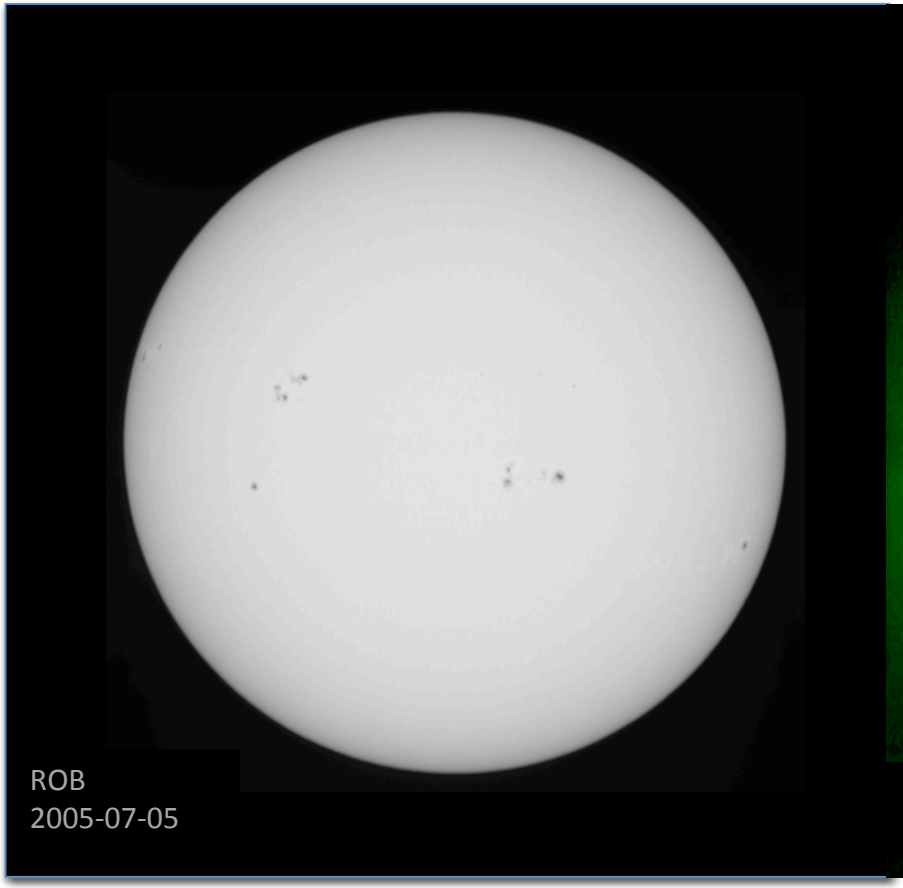


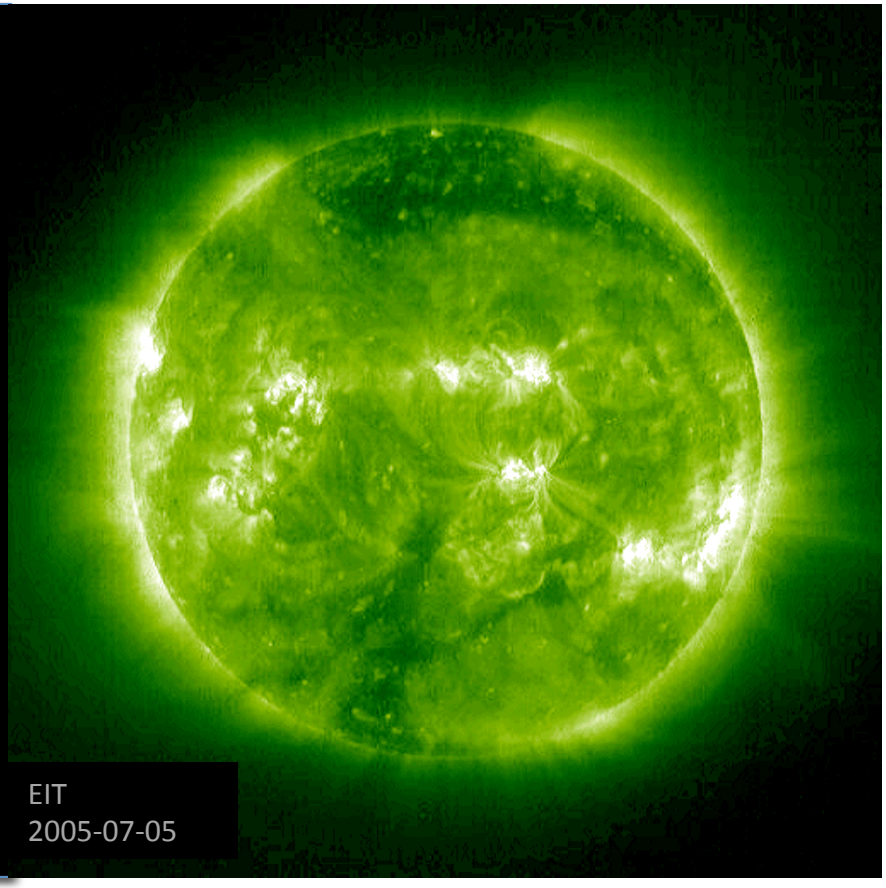
Visible versus extrême ultraviolet



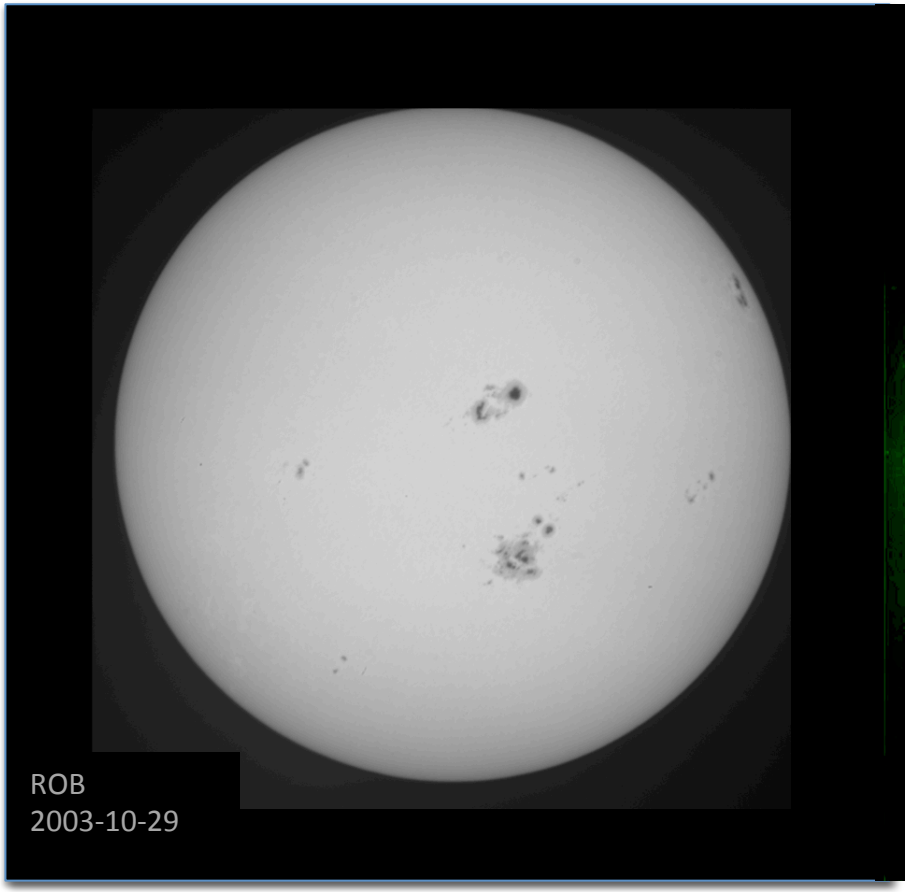


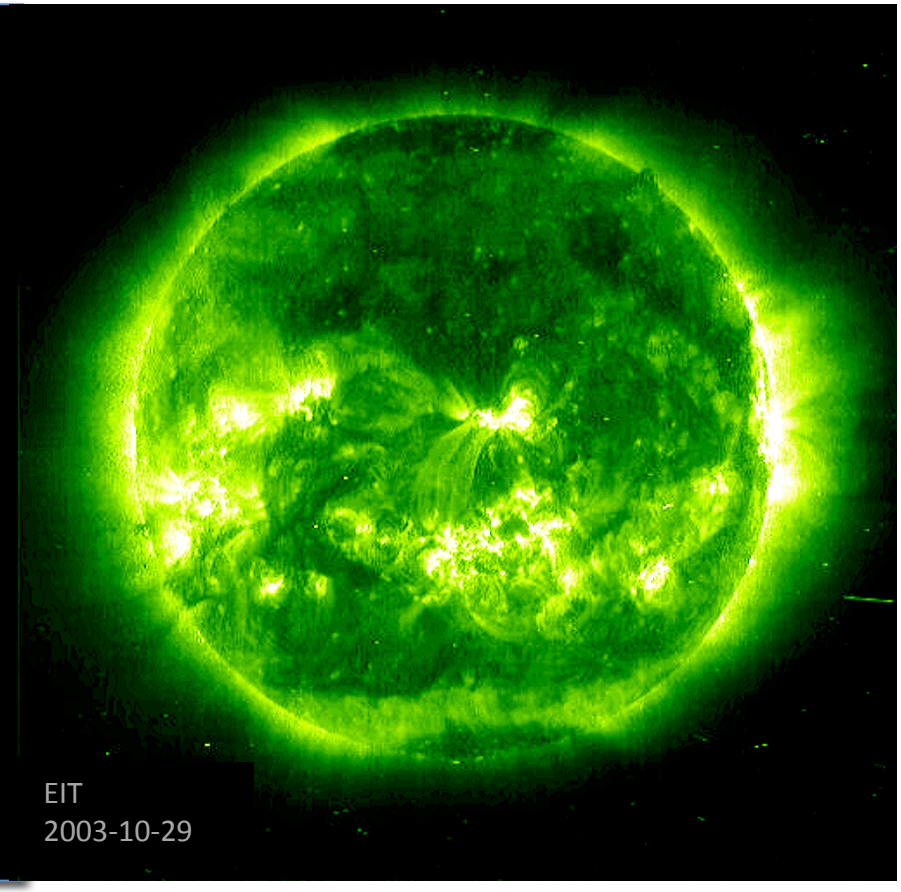
Visible versus extrême ultraviolet

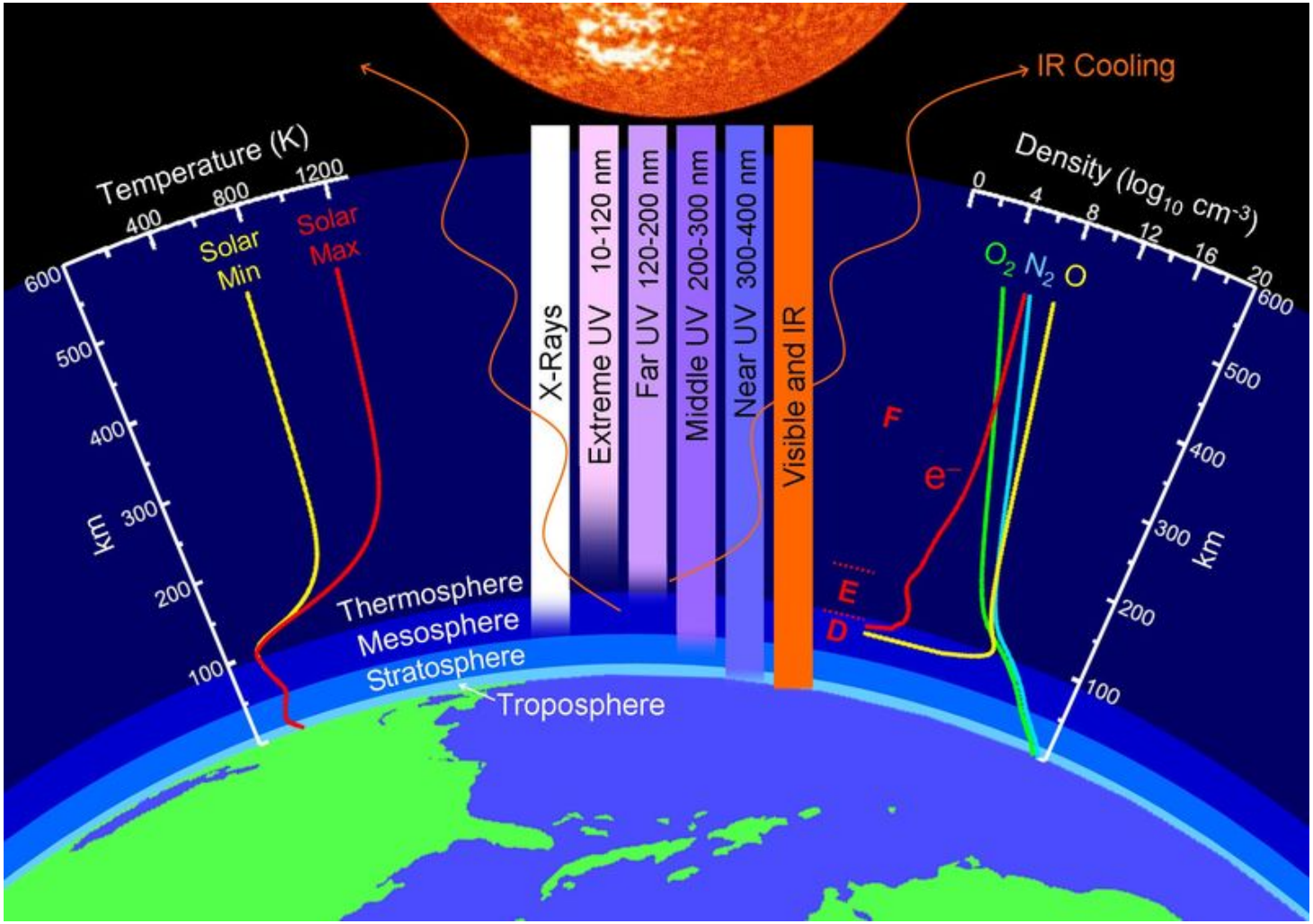




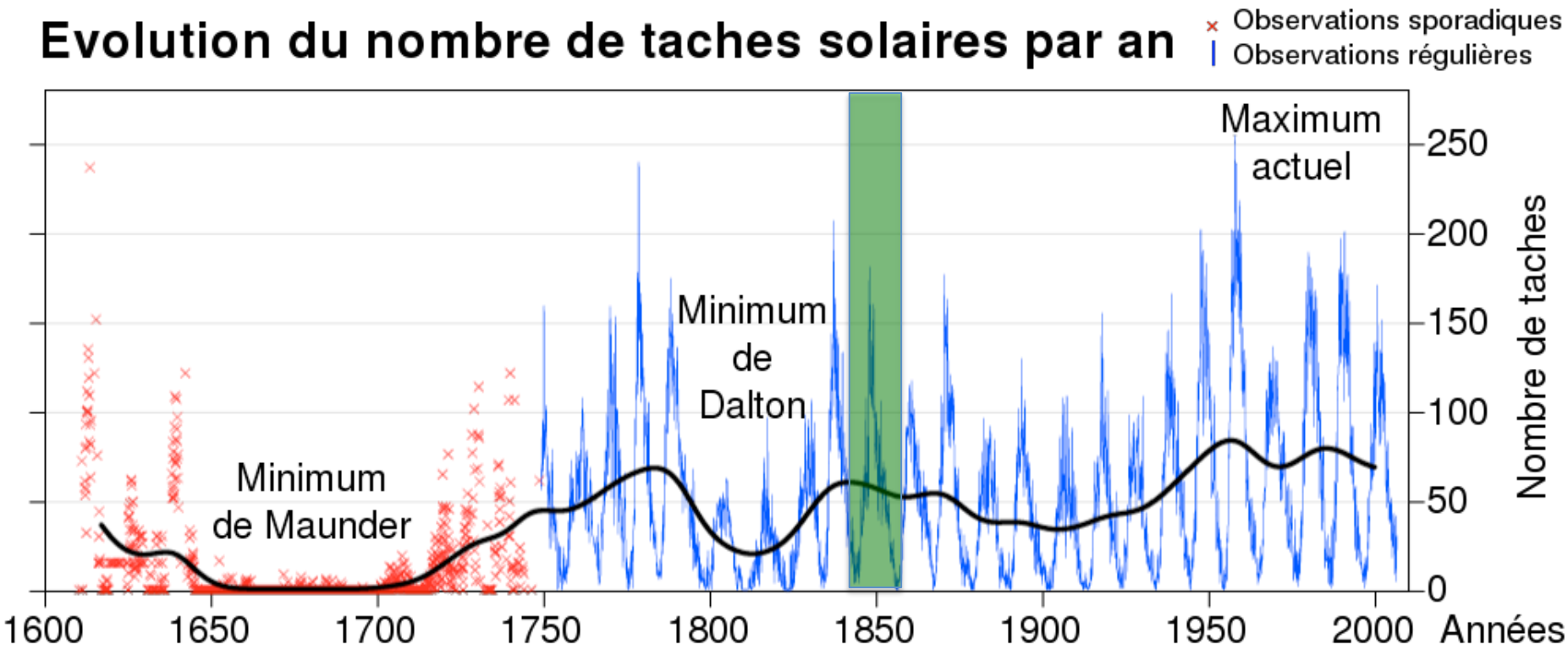
Visible versus extrême ultraviolet






IR Cooling
Temperature (K)
400
800
1200
Solar Min
Solar Max
600
500
400
300
200
100
km
X-Rays
Extreme UV 10-120 nm
Far UV 120-200 nm
Middle UV 200-300 nm
Near UV 300-400 nm
Visible and IR
Density ($\log_{10}$ cm^{-3})
0
4
8
12
16
20
O_2 N_2 O
F
e^-
E
D
Thermosphere
Mesosphere
Stratosphere
Troposphere

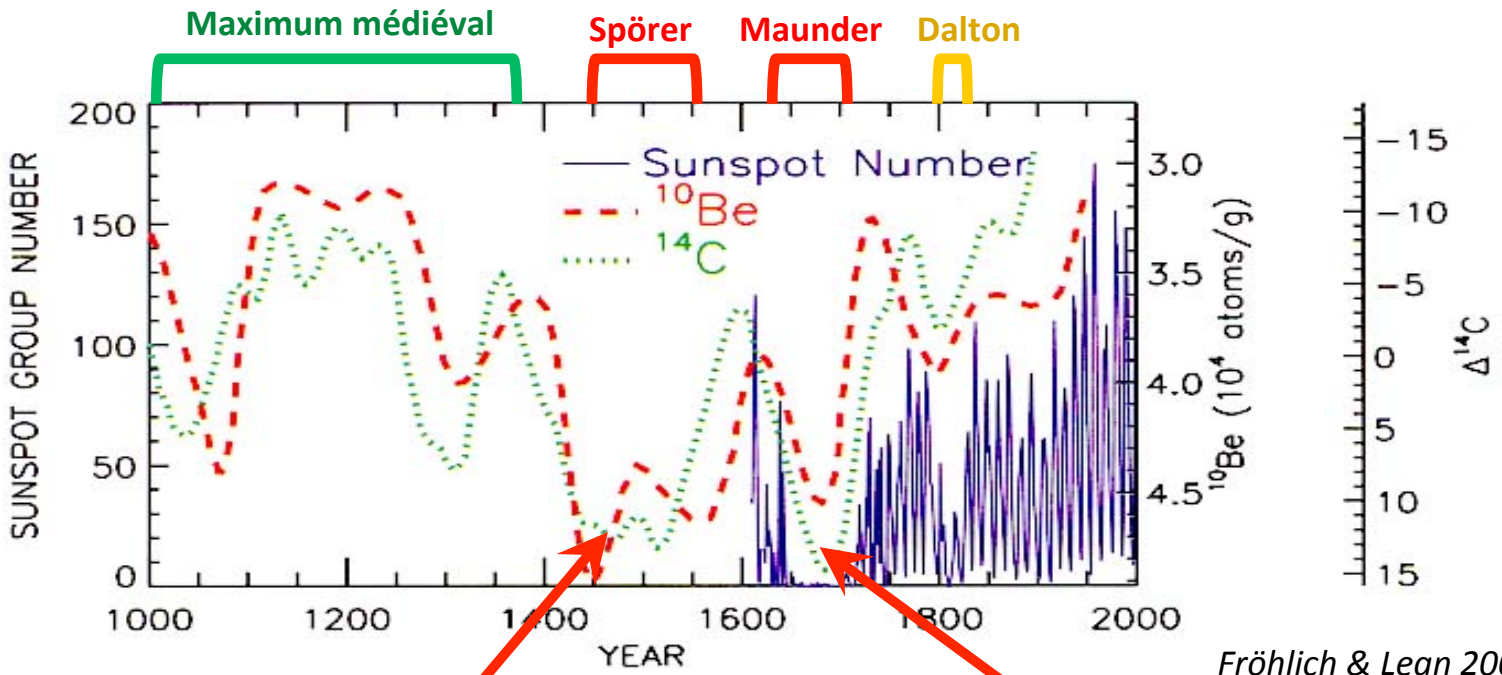
Taches solaires et cycle d'activité



Cycle de Schwabe

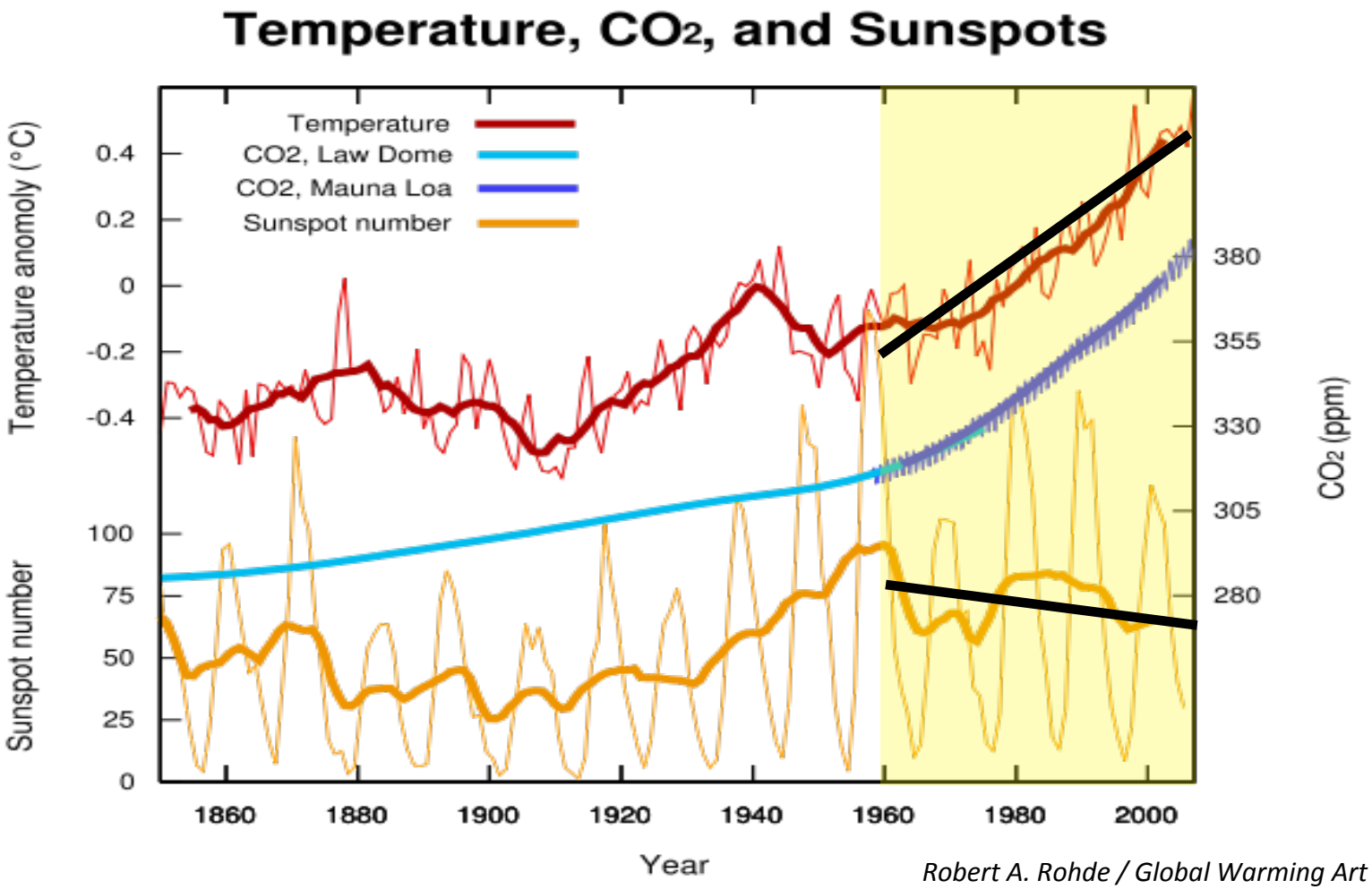
Robert A. Rohde / Global Warming Art

Grands minima et mini-glaciations



Fröhlich & Lean 2004

Tendances récentes: CO_2 ou Soleil?

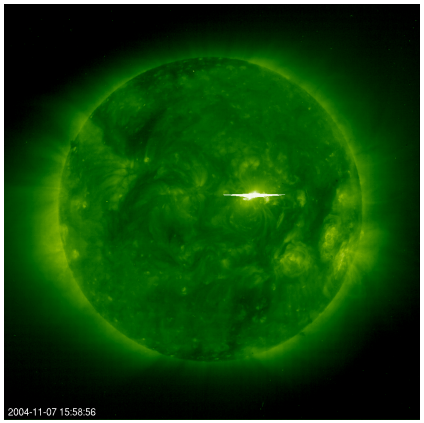


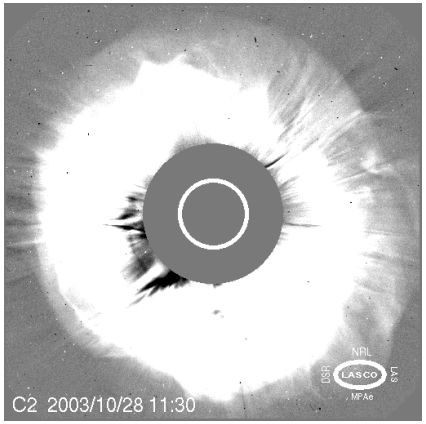
Robert A. Rohde / Global Warming Art

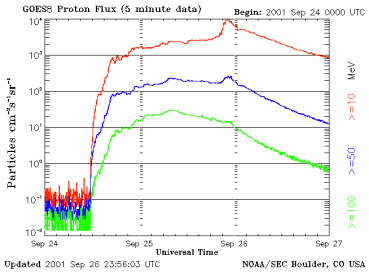
- La tendance montante des températures des 50 dernières années ne correspond pas à l'évolution de l'activité solaire (stable ou décroissante)

Trois phénomènes solaires qui peuvent être géoeffectifs à court terme

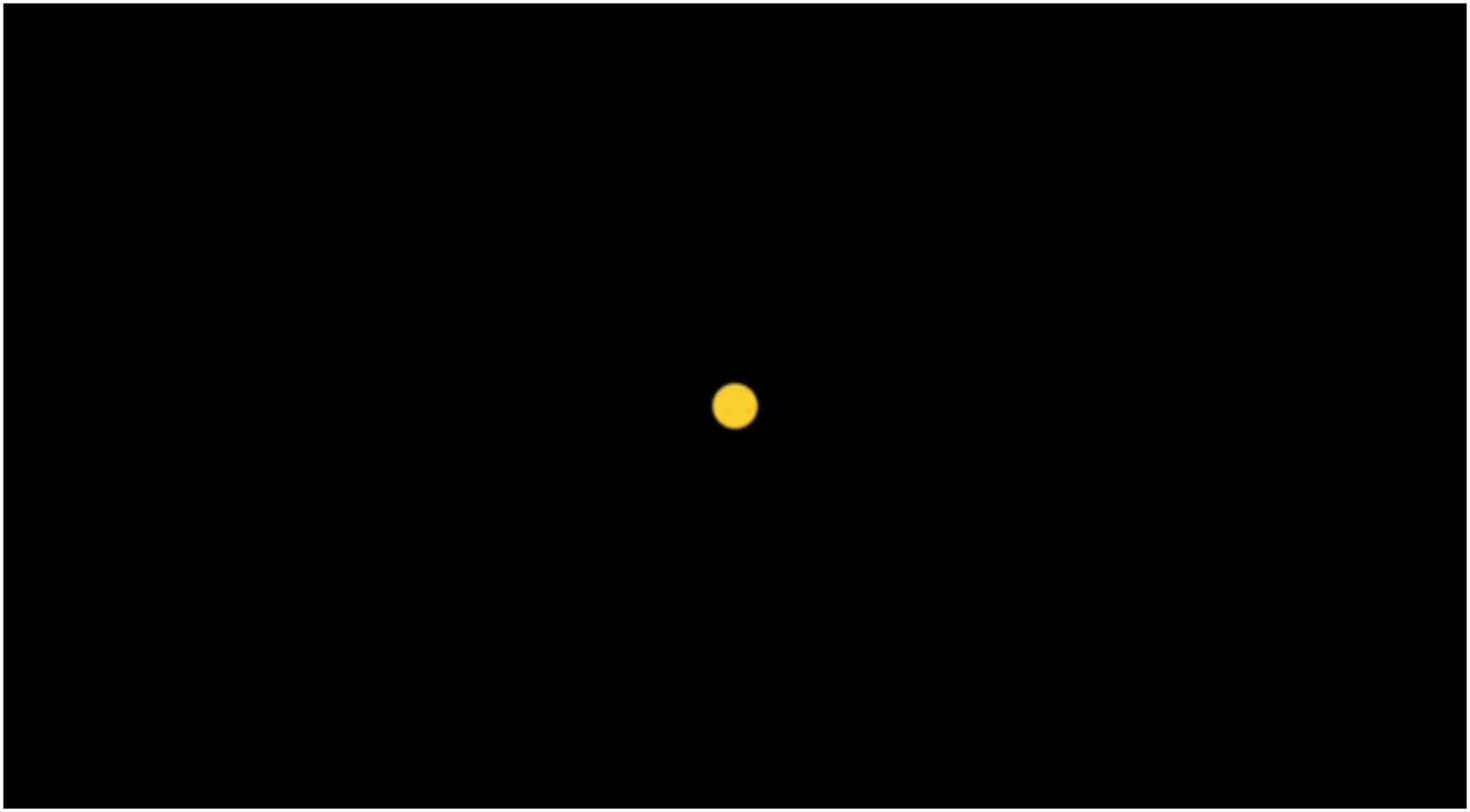
- Les éruptions lumineuses (“flares”)
  - Leur émission électromagnétique perturbe l’ionosphère terrestre.
- Les éjections de masse coronales (“CME”)
  - Leur champ magnétique cause les tempêtes géomagnétiques (dont les aurores boréales sont une manifestation spectaculaire).
- Les particules énergétiques
  - qui peuvent être générées aussi bien par les flares que par les CMEs
  - qui produisent les tempêtes de radiation







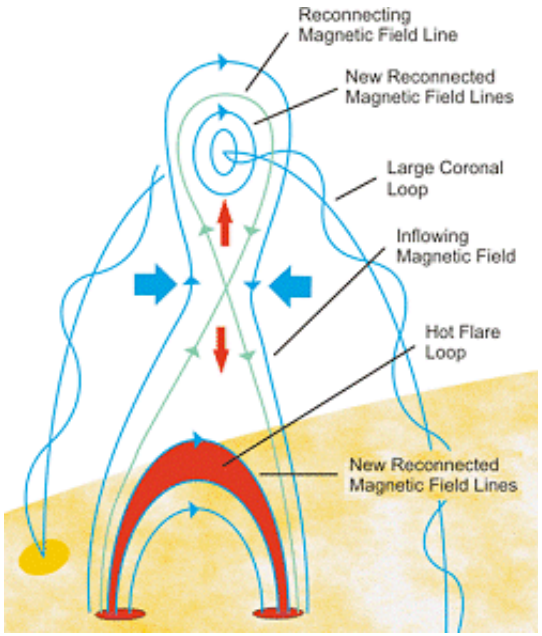
(ESA, NASA)

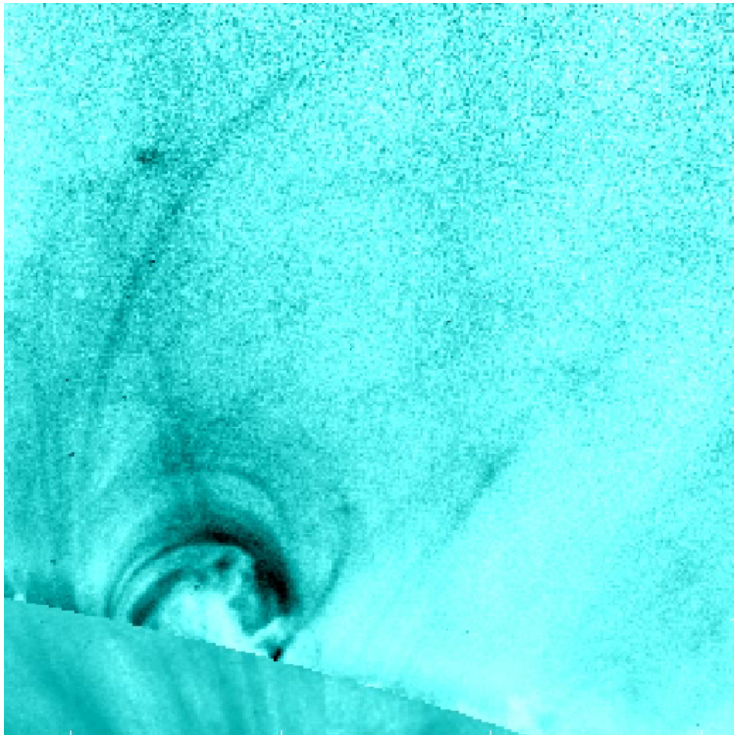


Eruptions: restructuration soudaine du champ magnétique solaire

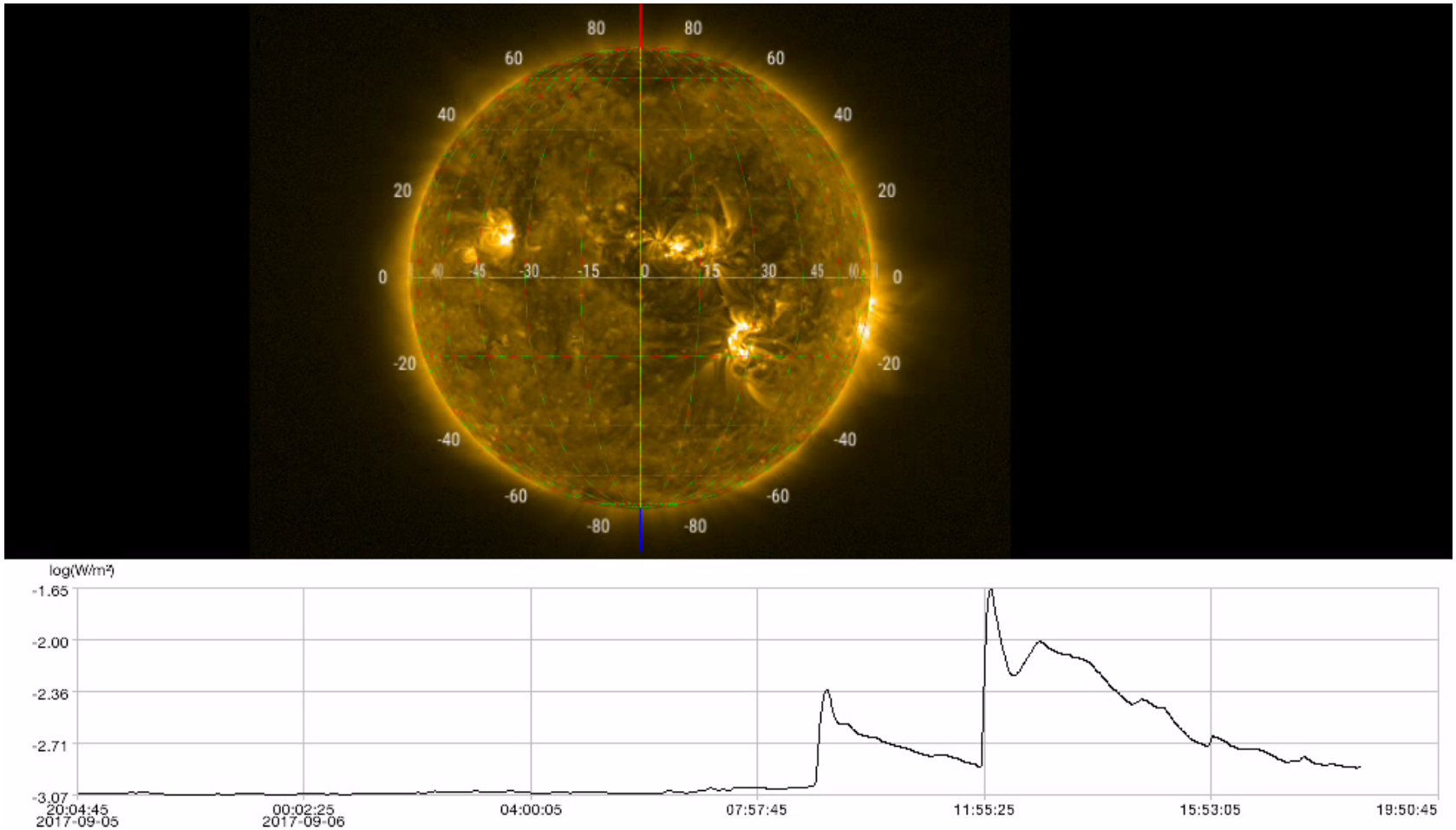
- Une boucle de champ magnétique perce la surface solaire et devient progressivement instable

- Une reconnection magnétique se produit, provoquant l'accélération d'électrons vers la surface solaire (flare) et dans la direction opposée (éjection de masse coronale)



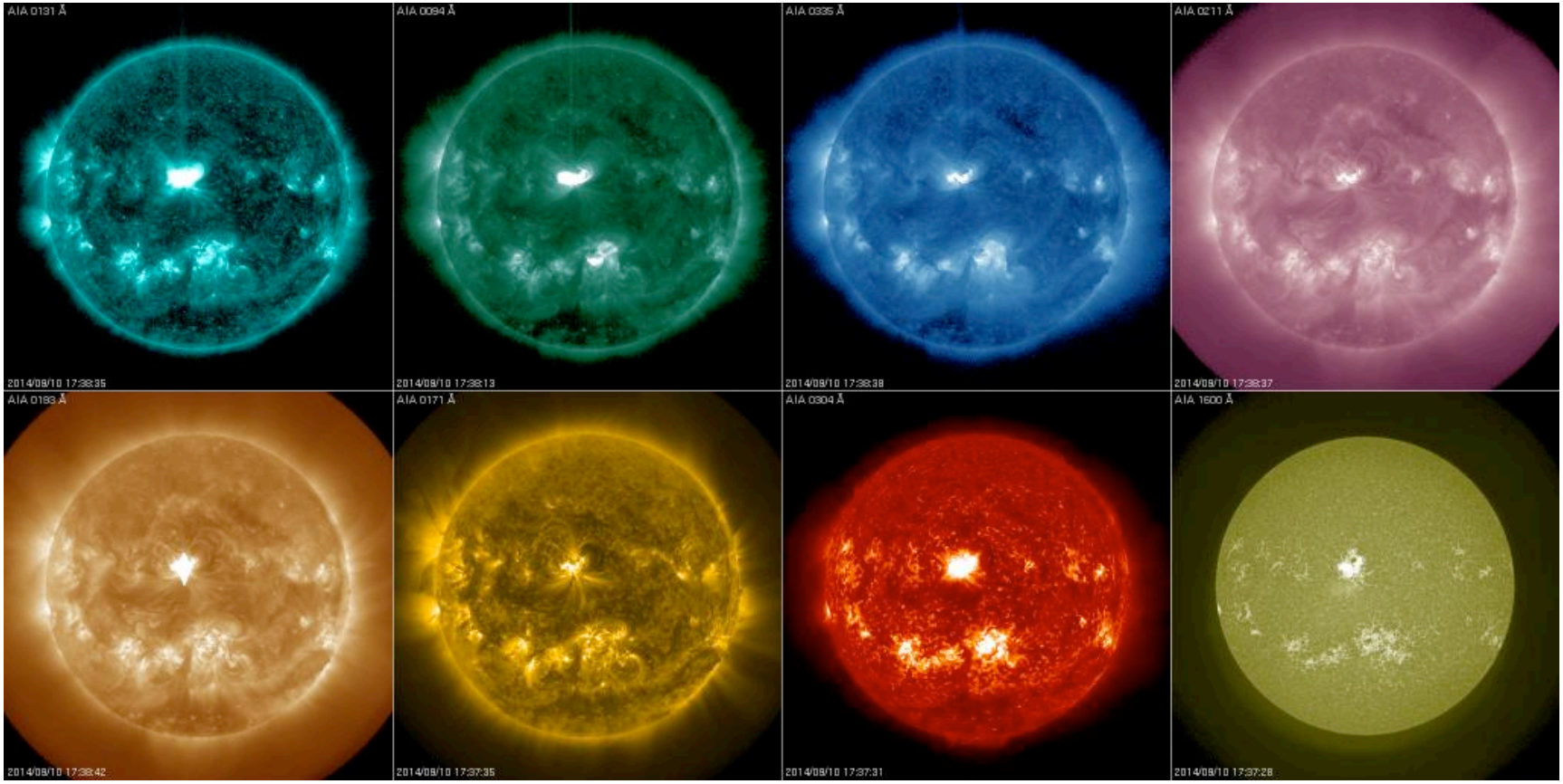


Flare du 6 Septembre 2017



Phénoménologie: une éruption lumineuse (« un flare »)

11 000 000 K 7 000 000 K 3 000 000 K 2 000 000 K



1 500 000 K 800 000 K 80 000 K 5 000 K

(NASA)

Énergie et puissance des éruptions

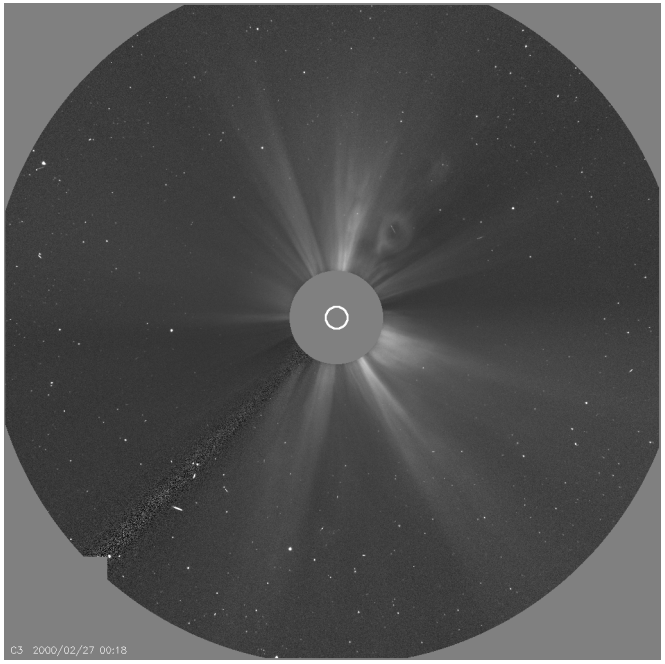
Énergie	Min	Typ.	Max
Éruption (J)	10^{19}	10^{22}	10^{25}
Production mondiale d'énergie durant	7 jours	20 ans	20 000 ans
Consommation totale d'énergie en Belgique durant	4 ans	4 000 ans	4 millions d'années
Éruptions volcaniques	10	10 000	10 millions
Bombes H (20 MT)	100	100 000	100 millions

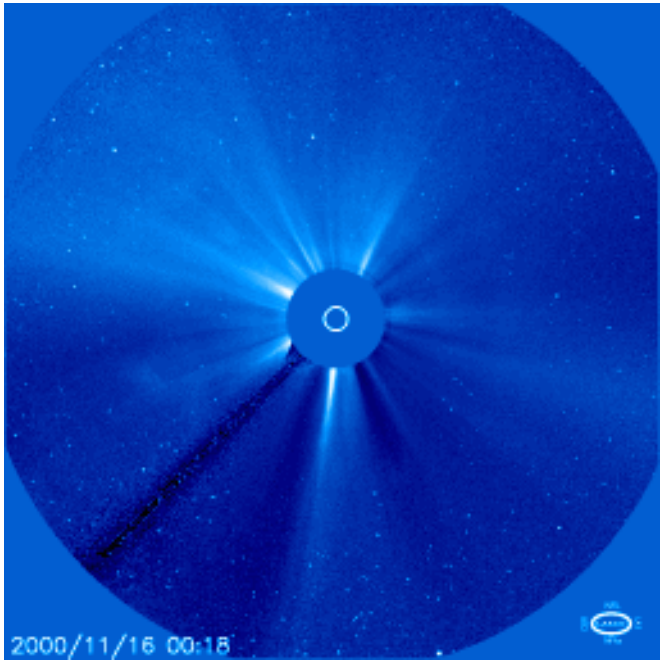
Puissance	Min	Typ.	Max
Éruption (Watt)	10^{18}	10^{20}	10^{22}
Puissance totale mondiale consommée	50 000	5 millions	500 millions
Puissance solaire sur Terre	5	500	50 000

→ Phénomènes les plus énergétiques à proximité de la Terre

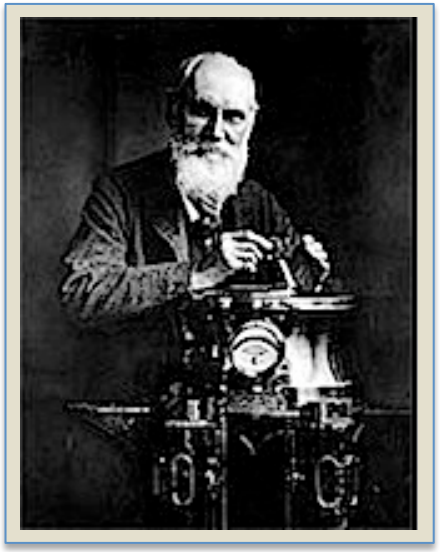
Ejections de masse coronale (CMEs)

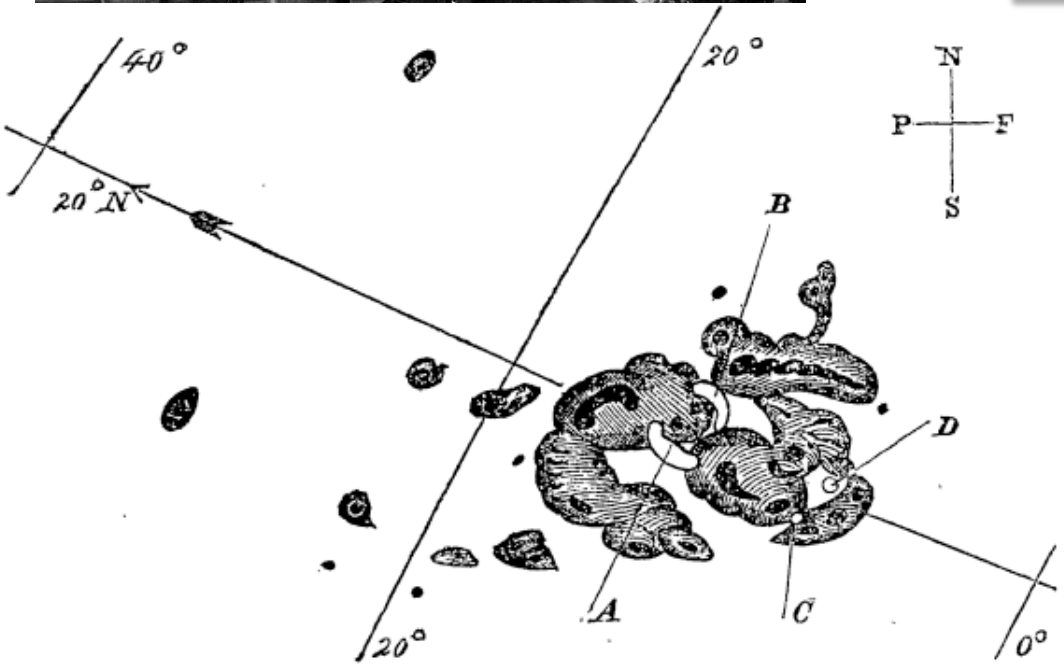
- Une CME est une éjection de plasma observée par un coronographe.
- La vitesse des CMEs est généralement comprise entre 200 km/s (plus lent que le vent solaire) et 2500 km/s (nettement plus rapide que le vent solaire).





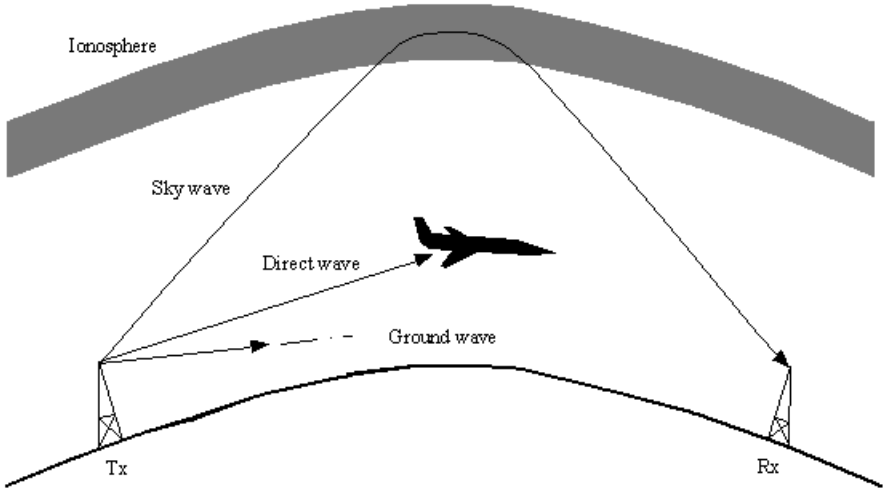
(ESA, NASA)

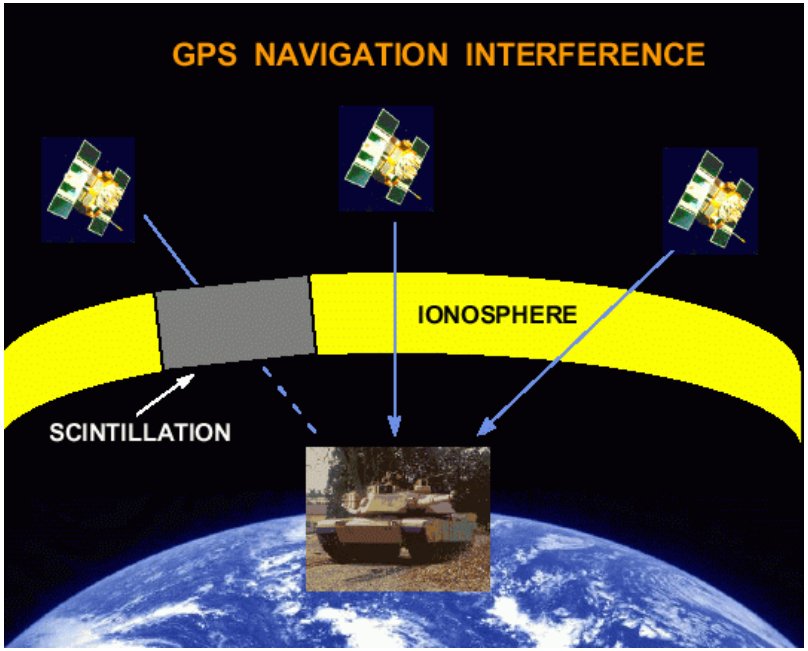



40°
20°
20° N
N
P
F
S
B
D
A
C
20°
0°

Impact terrestre: systèmes de navigation et communication

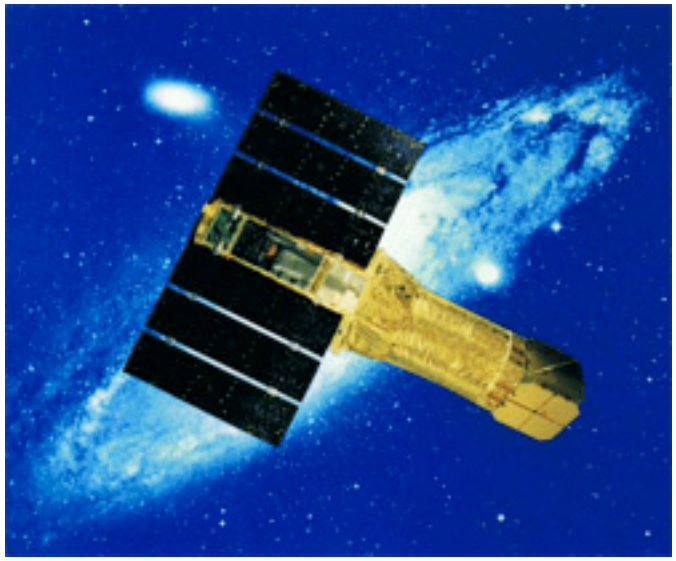
- Propagation des ondes affectées par les modifications de l'ionosphère
- Conséquences:
  - Interruption de service.
  - Erreurs de mesure (ex: de un à plusieurs centaines de mètres pour les GPS)





Dommages aux satellites

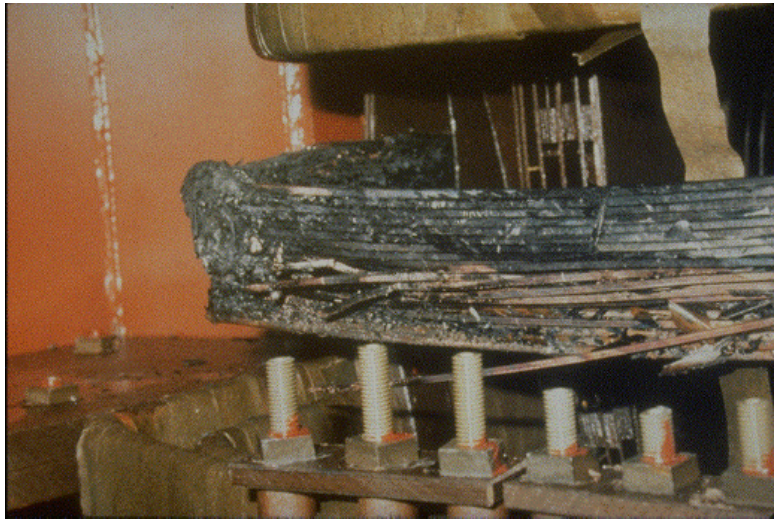
- Panneaux solaires
- Ordinateurs de bord et mémoire
- Augmentation des frottements atmosphériques qui perturbent l'orbite



Satellite ASCA perdu le 15 juillet, 2000

Effets géomagnétiques induits au sol

- Courants telluriques induits:
  - Perturbations du réseau de distribution électrique
  - Dommages aux transformateurs
  - Détérioration des pipelines et cables de communications enterrés



Dangers pour l'homme

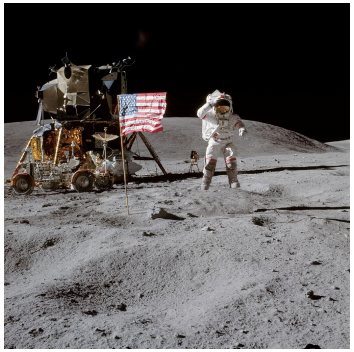
Nous sommes protégés par l'atmosphère et le champ magnétique de la terre

MAIS

certaines personnes sont à risque:

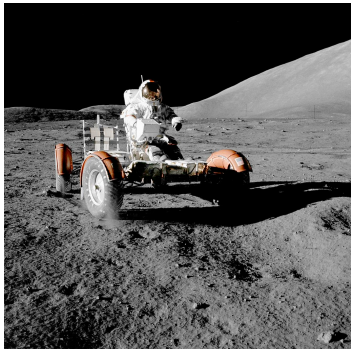
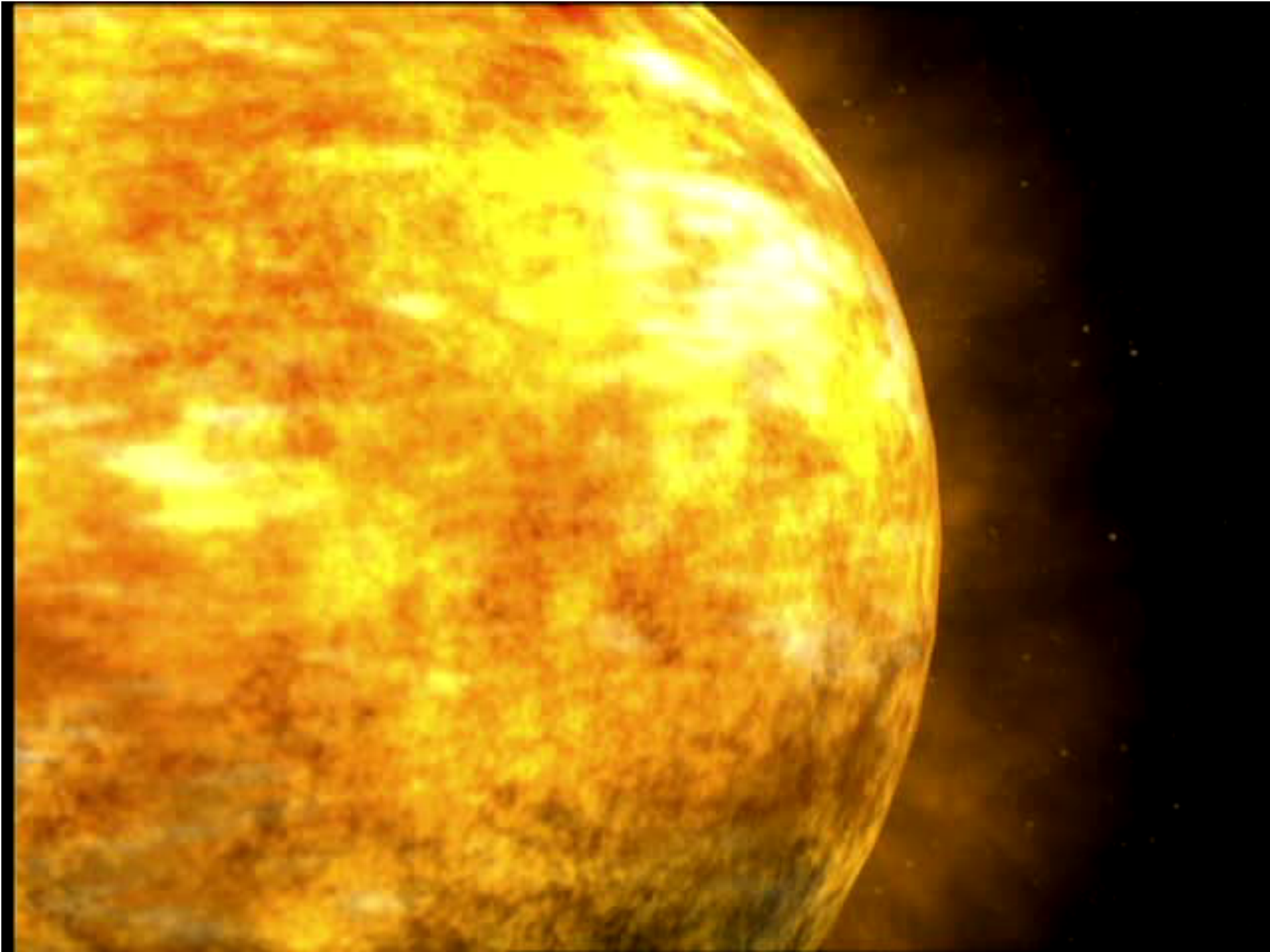
- Les pilotes de vols intercontinentaux passant par les pôles
- Les astronautes

Apollo 16: 16-27 avril 1972



4 août 1972:
une super-éruption
solaire!

Apollo 17: 7-19 décembre 1972



Yellowknife
Décembre 2013