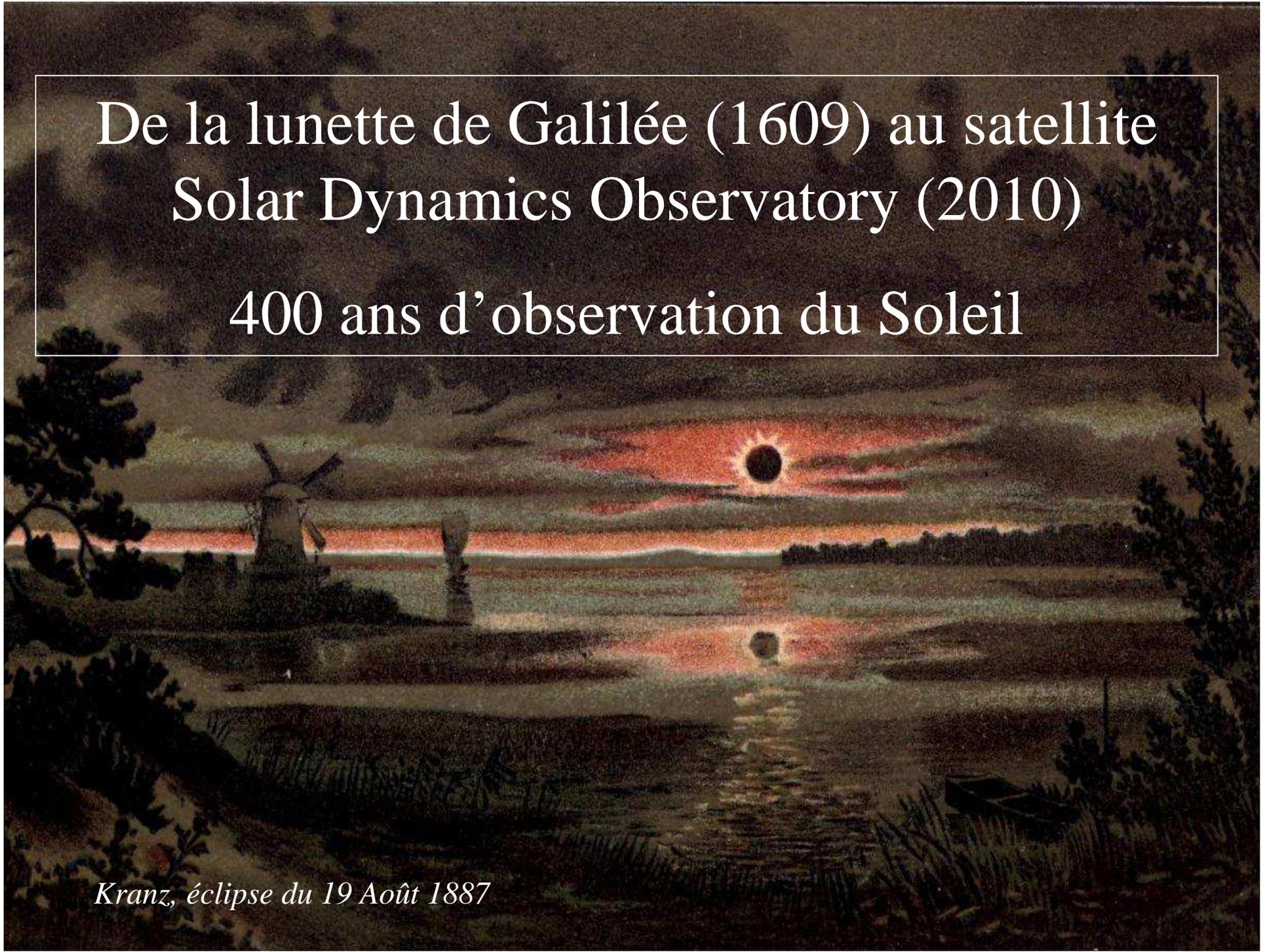


De la lunette de Galilée (1609) au satellite
Solar Dynamics Observatory (2010)

400 ans d'observation du Soleil

Kranz, éclipse du 19 Août 1887





1609: la lunette de Galilée

*Dessins de Christoph
Scheiner (1573-1650)
observations 1625-1626*

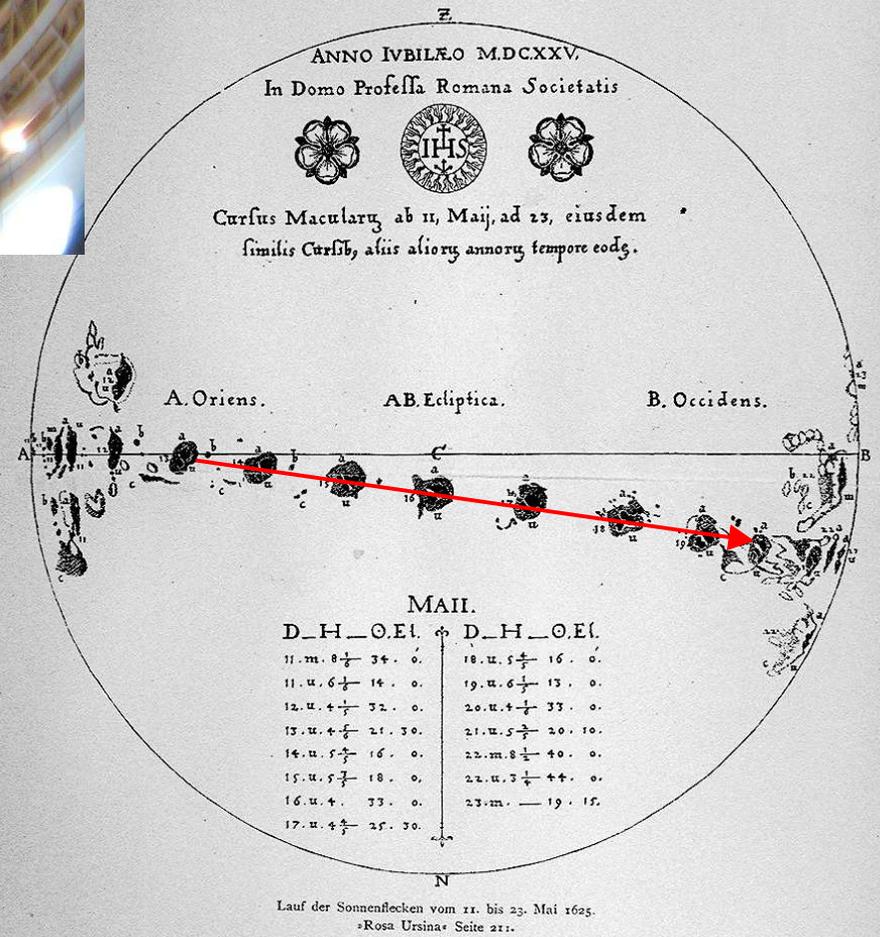
*1610: premières observations des
taches solaires à la lunette*

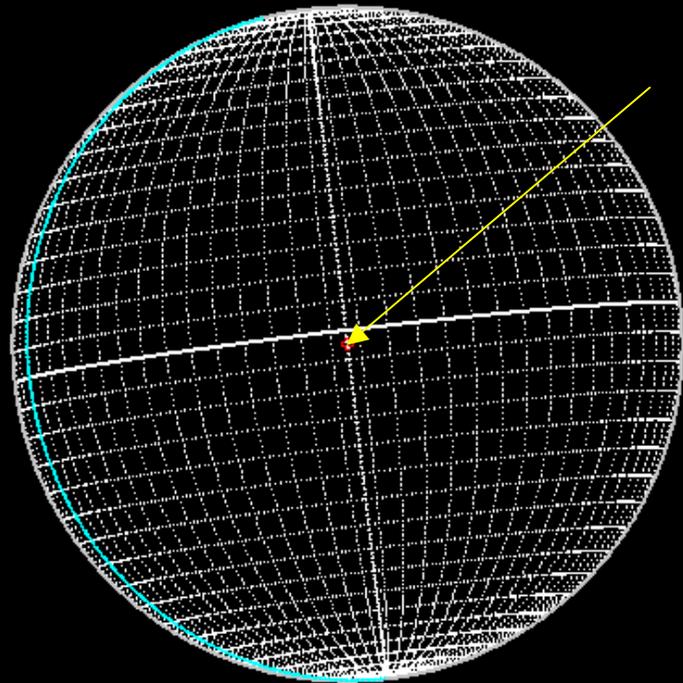
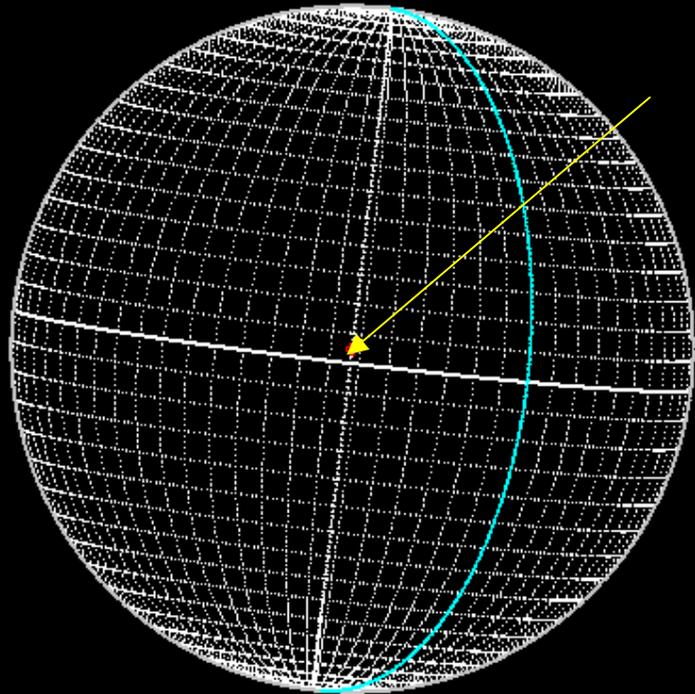
Thomas Harriot (1560-1621)

Galileo Galilei (1564-1642)

Christoph Scheiner (1573-1650)

Fabricius (1564-1617)





IMAGO SOLIS LXV. 323

LXV, Imago Ob-
servationum.

P C M
M DC XX VI.
In Collegio Romano Societatis.

Iunij, et
Decembris.

Cursus duo subcontra:

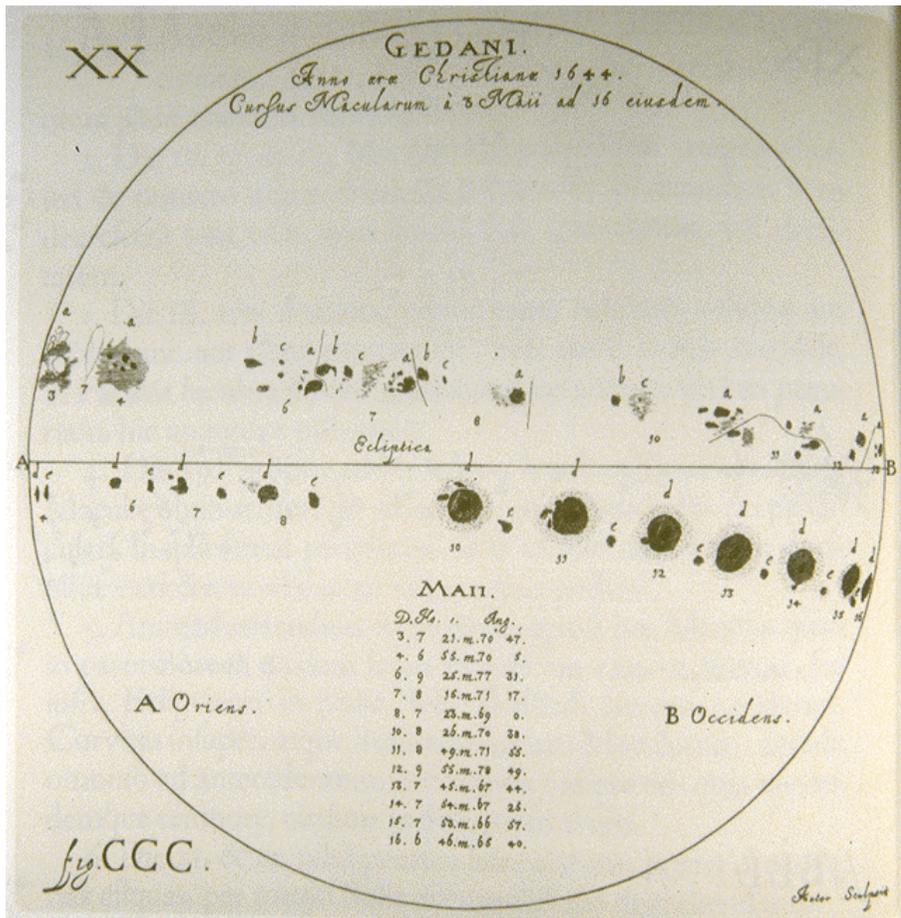
Cursus Maculae a, a die 17, ad 28, Iunij, 1626.



Cursus Maculae b, a die 18, ad 29, Decembris, 1626.

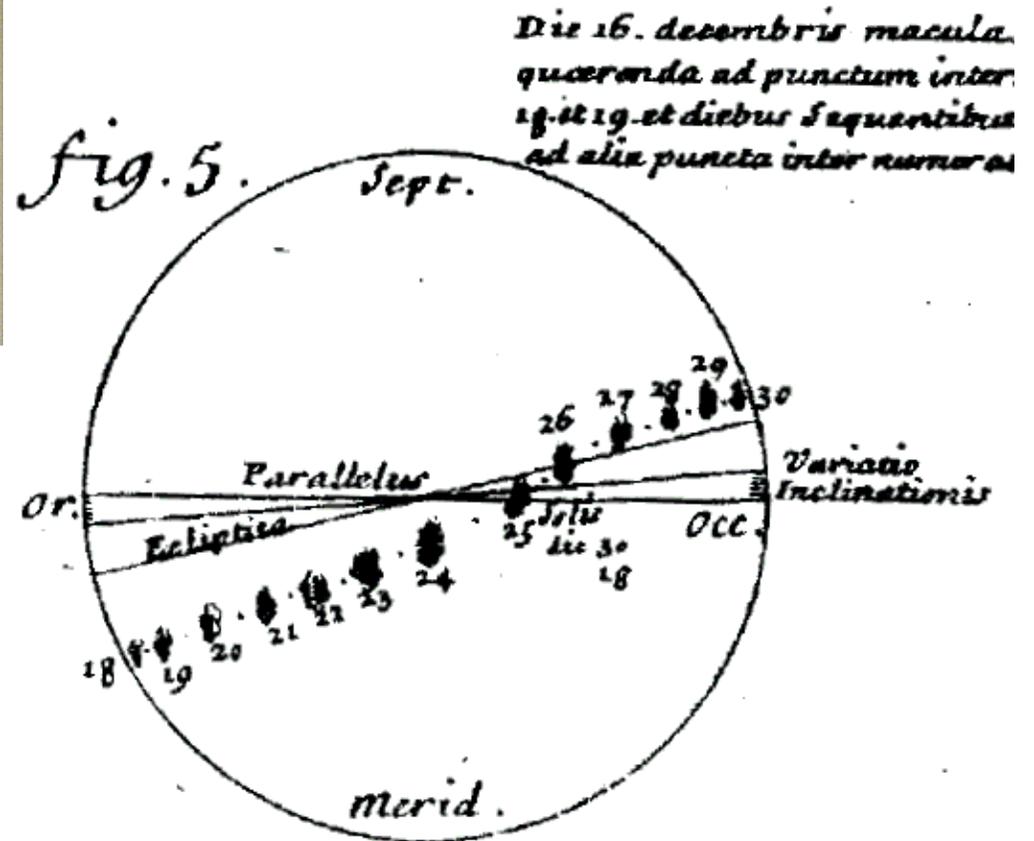


N D O



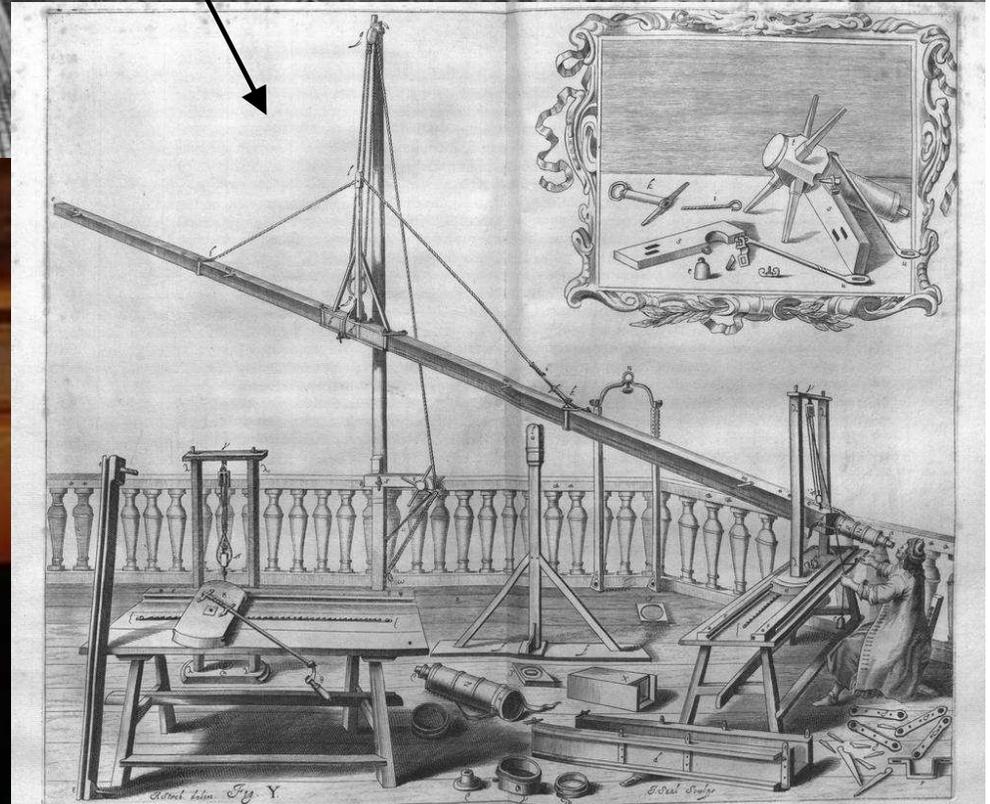
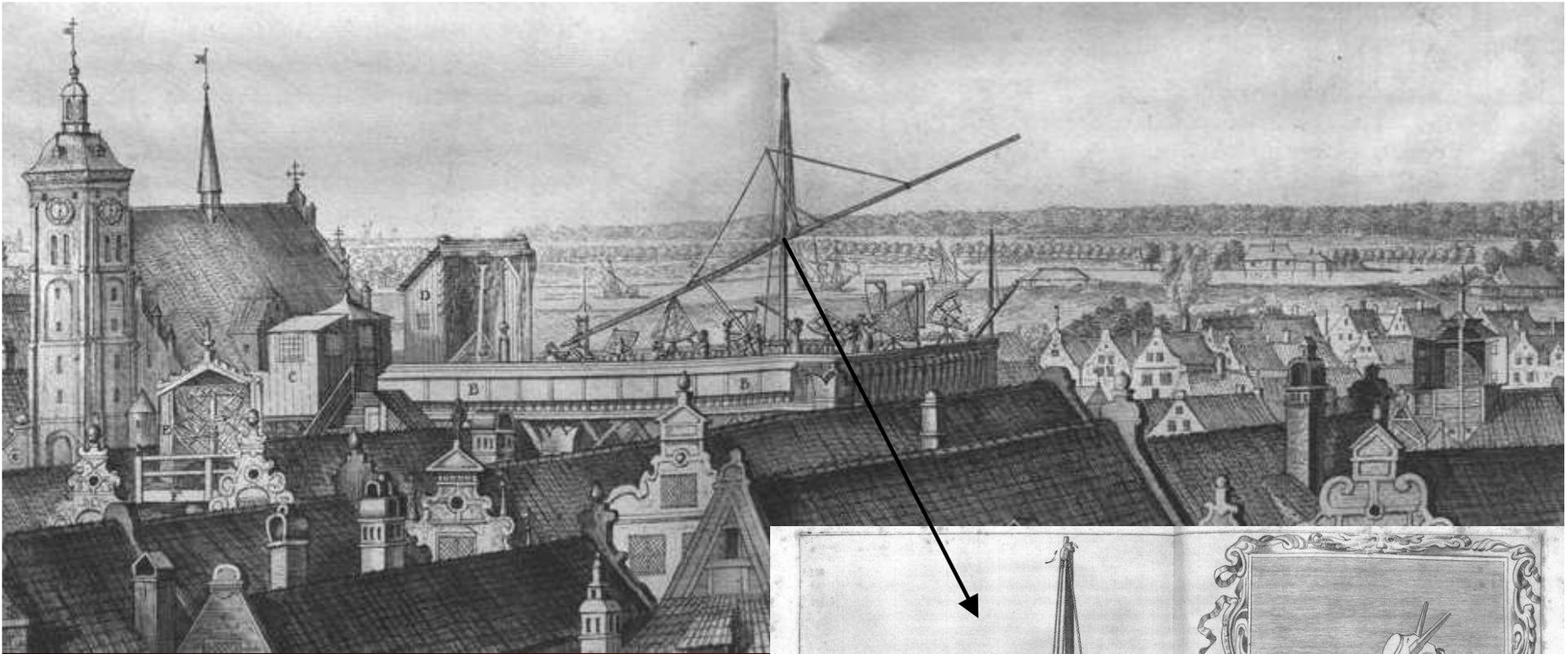
← Dessins d'Hevelius (1611-1687), en 1644, tiré de Selenographia (publié en 1647)

4000 jours d'observation entre 1642 et 1684 !



Dessin de Jean Dominique Cassini (1625-1712) daté de 1676, archives de l'Académie

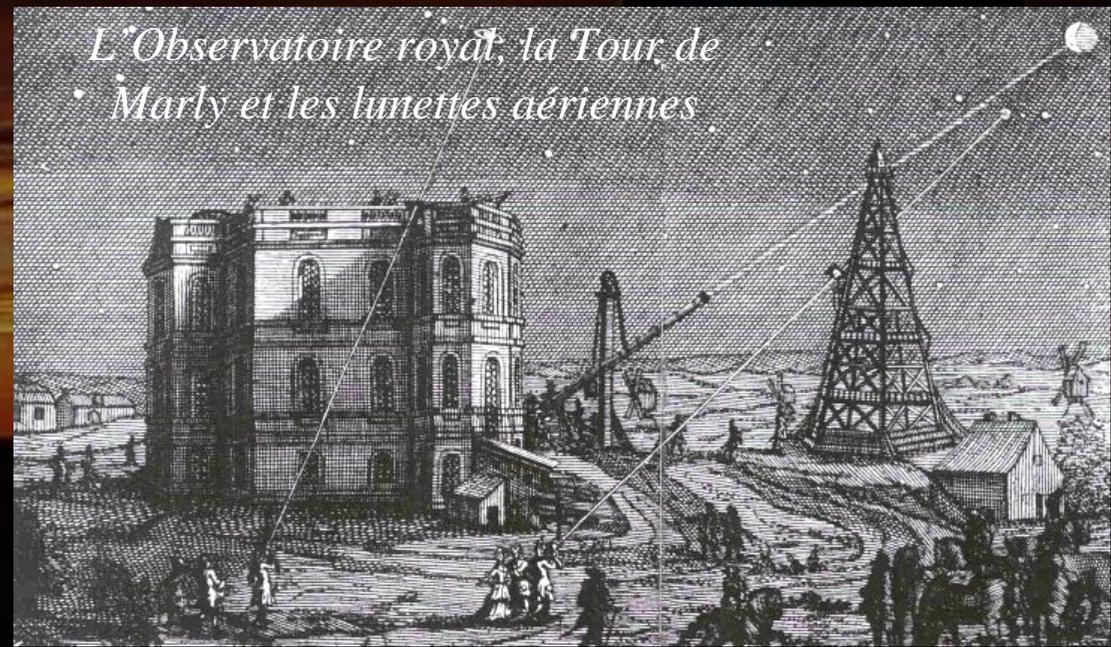
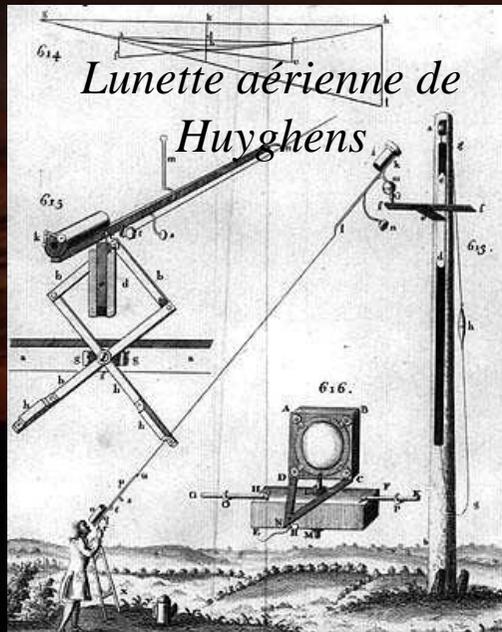




*Johannes Hevelius (1611-1687)
observe à Gdansk à l'aide de
lunettes suspendues (Machinae
Coelestis, publié en 1673)*

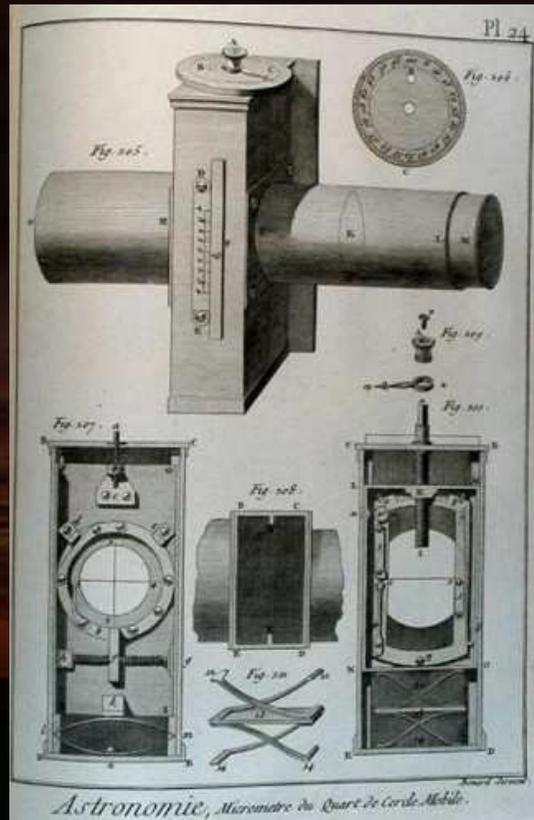


*1667: les sciences
s'organisent avec la
fondation de
l'Observatoire
Royal sous Louis
XIV*



Jean Picard (1620-1682) Adrien Auzout (1622-1691)
Christian Huyghens (1629-1695) Philippe de la Hire (1640-1718)

Le XVIIème siècle, siècle de la mesure et de l'astrométrie

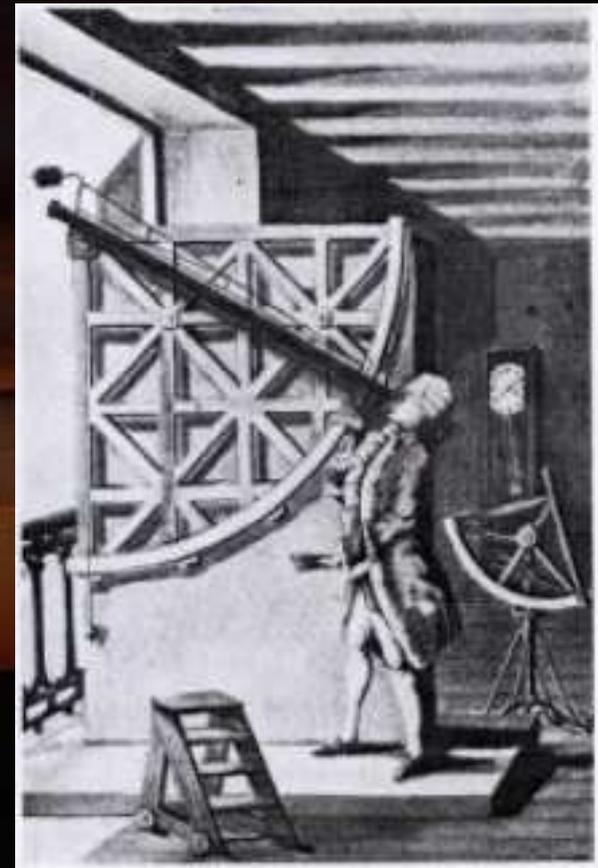


*Quart de cercle méridien
(chronodation des
passages au méridien)*



*Horloges de Christian
Huyghens marquant la
seconde*

← *Oculaire
micrométrique d'Adrien
Auzout*



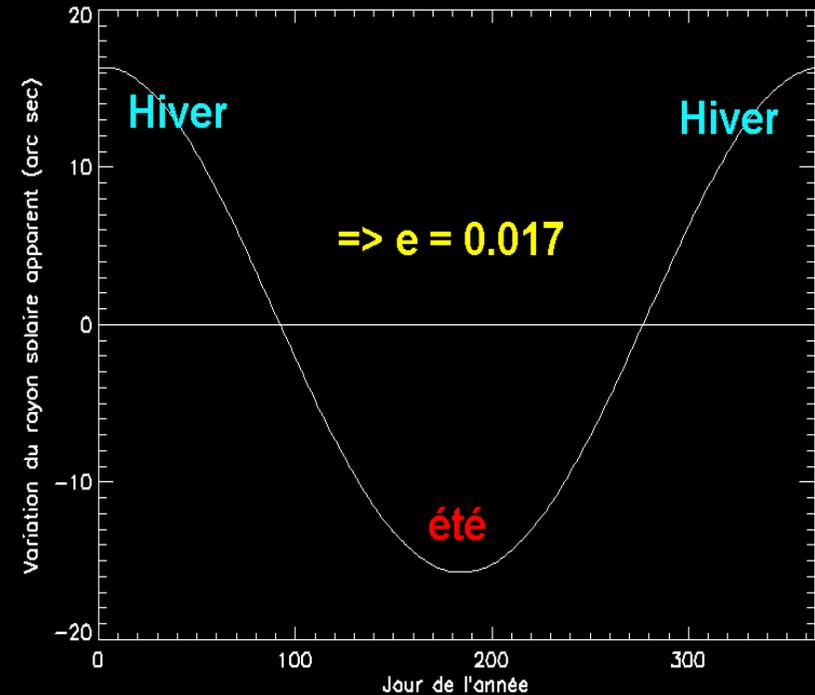
astrométrie = mesure des positions

Dans le cas du soleil:

→ Mesures du diamètre

→ Mesures de position des taches

Observateurs du diamètre au XVII/XVIIIème siècle



1666: Newton (1643-1727) découvre le spectre continu du Soleil



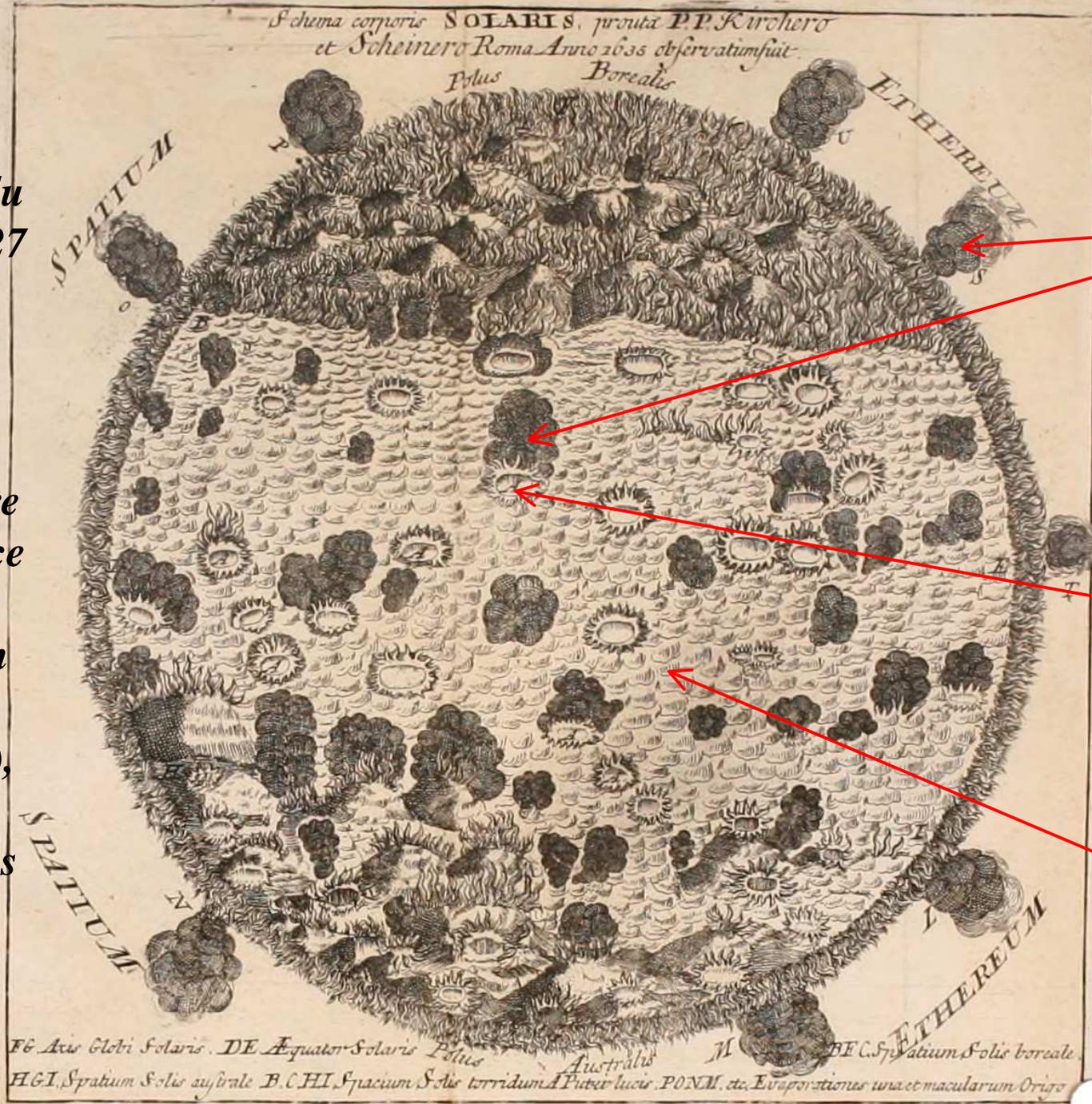


→ l'ELT européen fera 40 m de diamètre vers 2020 !

1687: Newton mathématise les lois de Kepler et calcule la masse M du Soleil



*Une vision du
Soleil en 1727
(Tobias
Swinden,
1659-1719,
recherches
sur la Nature
et sur la place
de l'enfer),
dessin selon
Kircher
(1601-1680),
Mundus
subterraneus
(1665)*



« Les
exhalaisons
et l'origine
des taches »

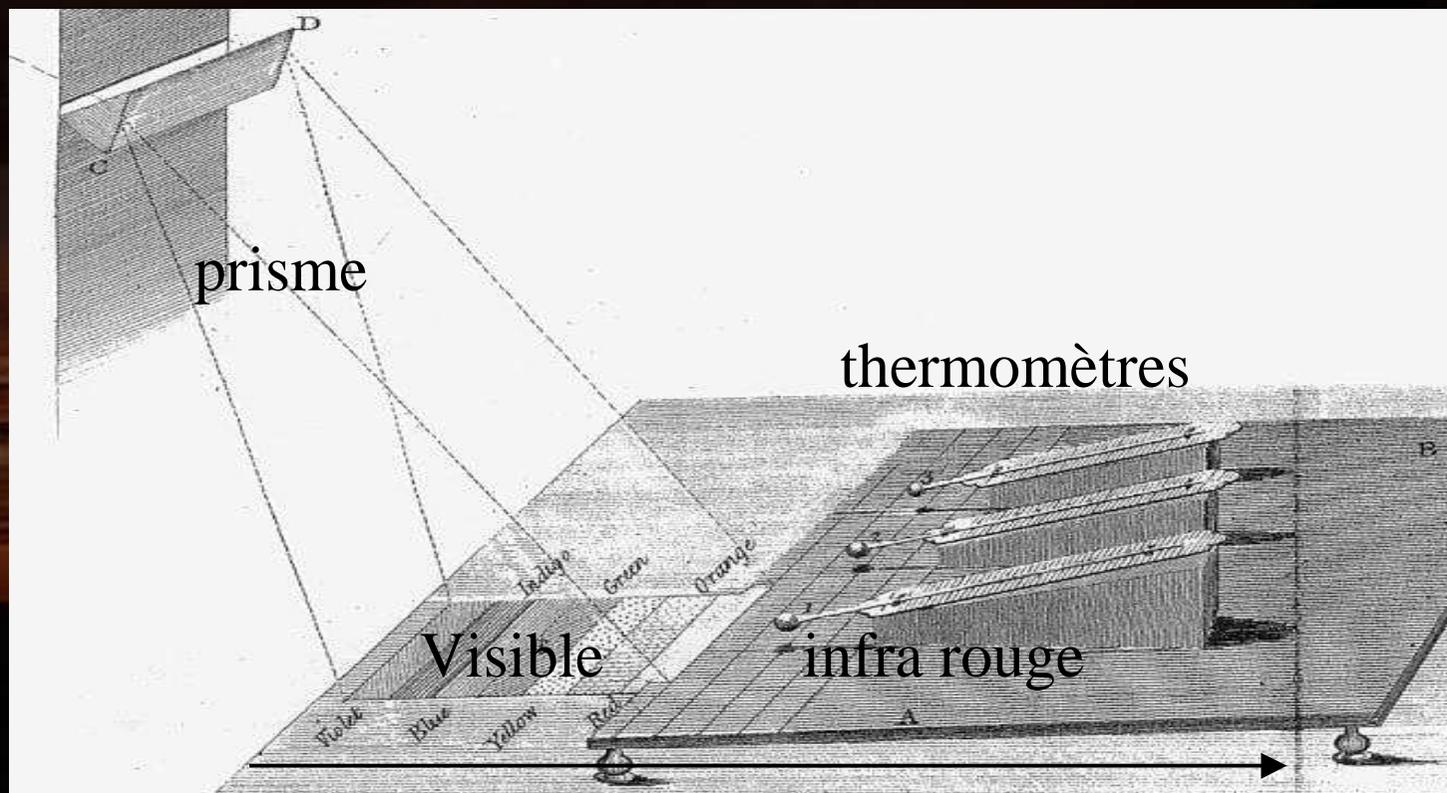
« Les sources
de la
lumière »
(facules ?)

« la région
du Soleil
brûlante »

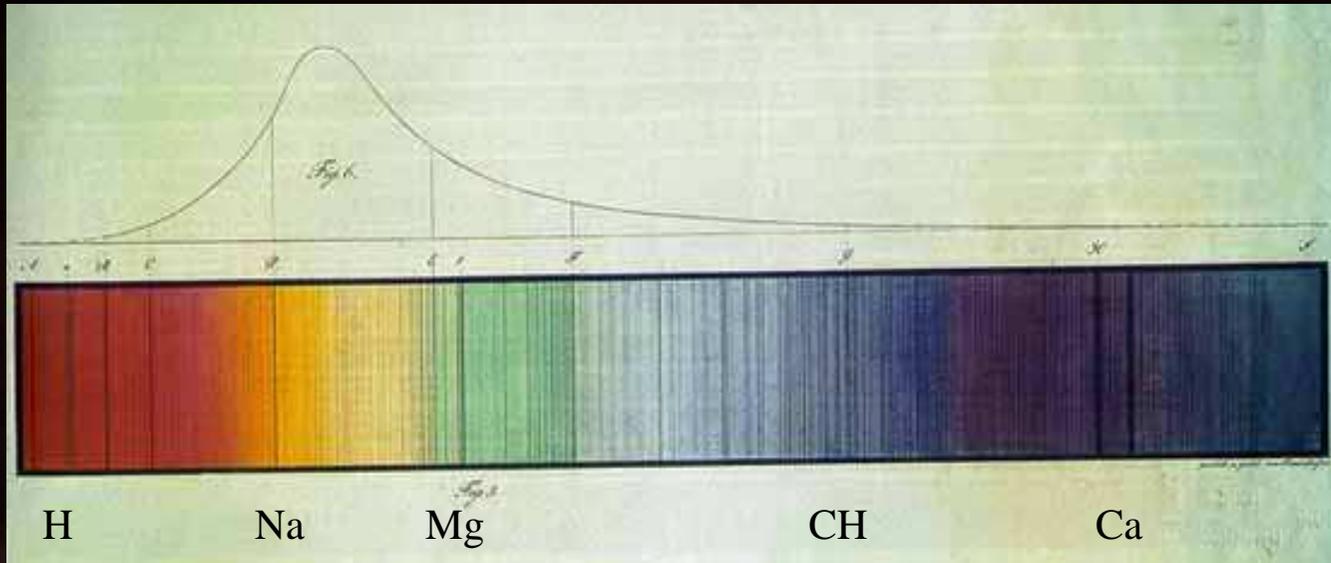


XIX^{ème} siècle

1800: William Herschell (1738-1822) découvre le rayonnement infrarouge du Soleil (la moitié de l'énergie solaire !)

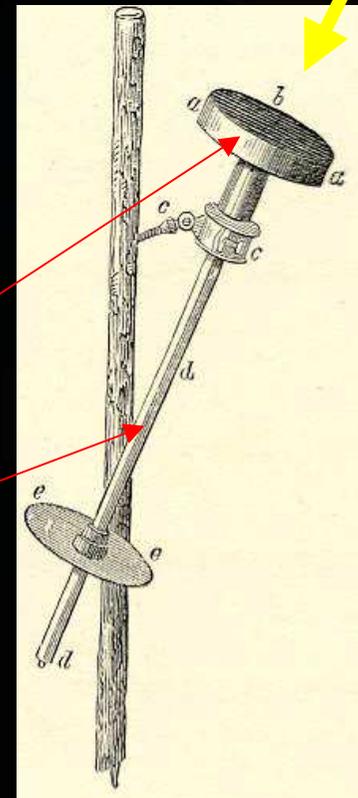


1817: Joseph von Fraunhofer (1787-1826) découvre le spectre de raies d'absorption du Soleil



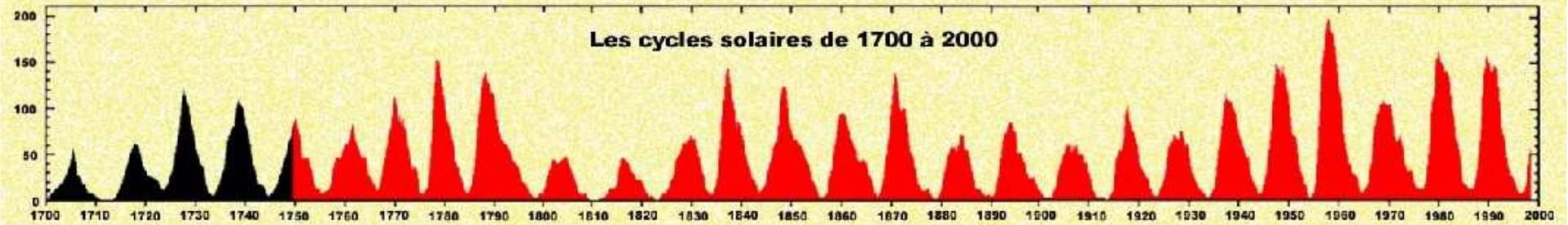
1838: première tentative de mesure de la « constante solaire » avec le pyrhéliomètre de Claude Pouillet (1790-1868)

Eau + capot noir
thermomètre



→ Estimation de la température de surface du Soleil et de sa luminosité

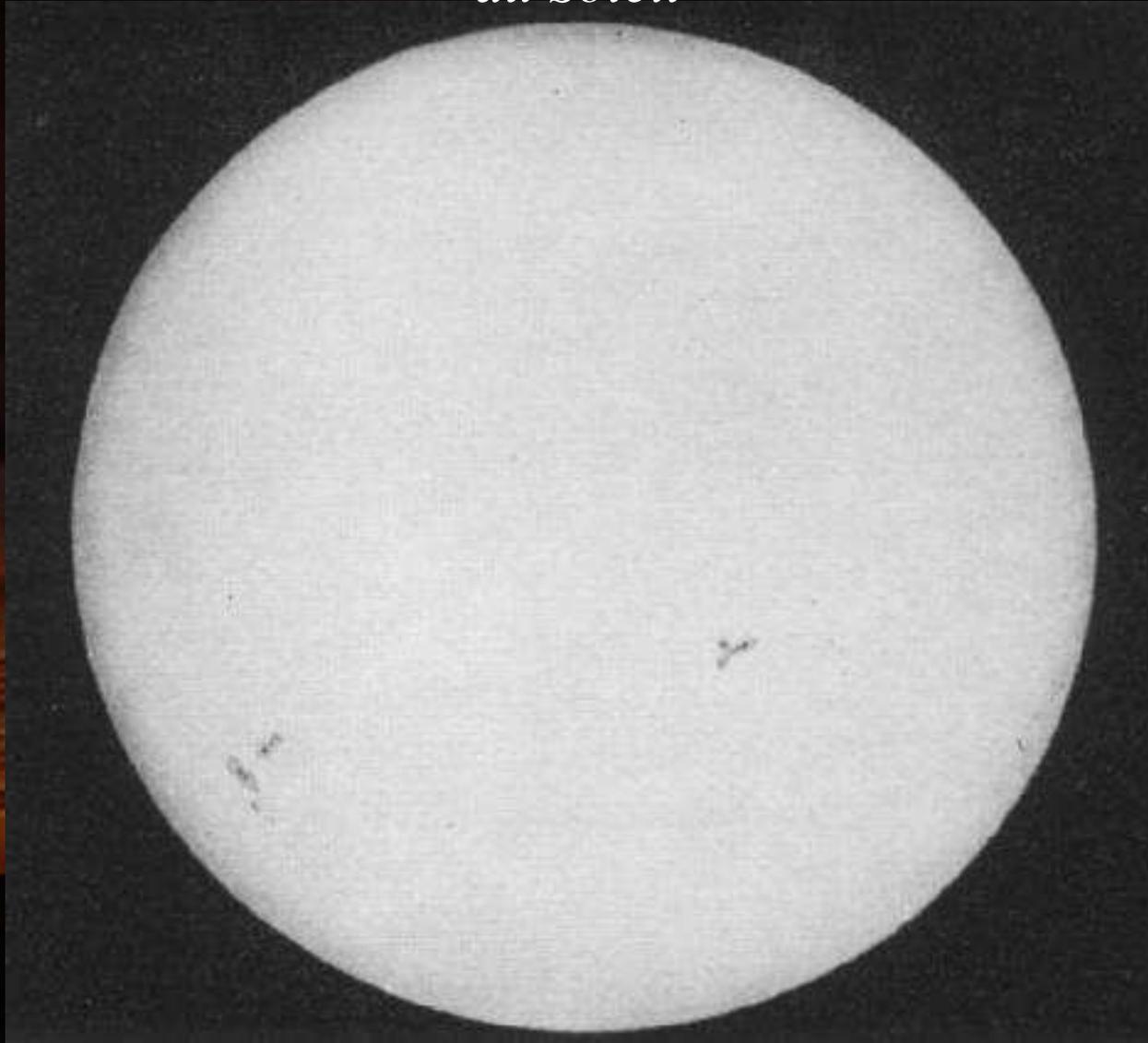
1843: découverte du cycle des taches de 11 ans par Heinrich Schwabe (1789-1875)



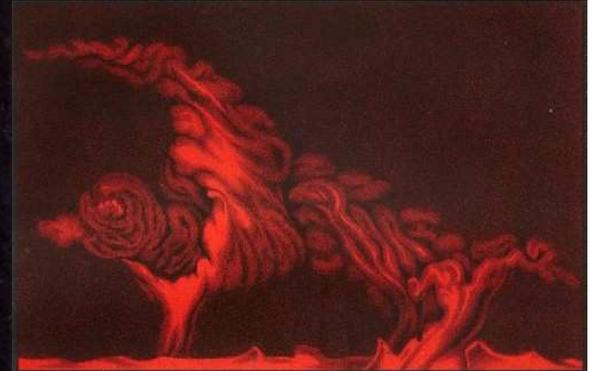
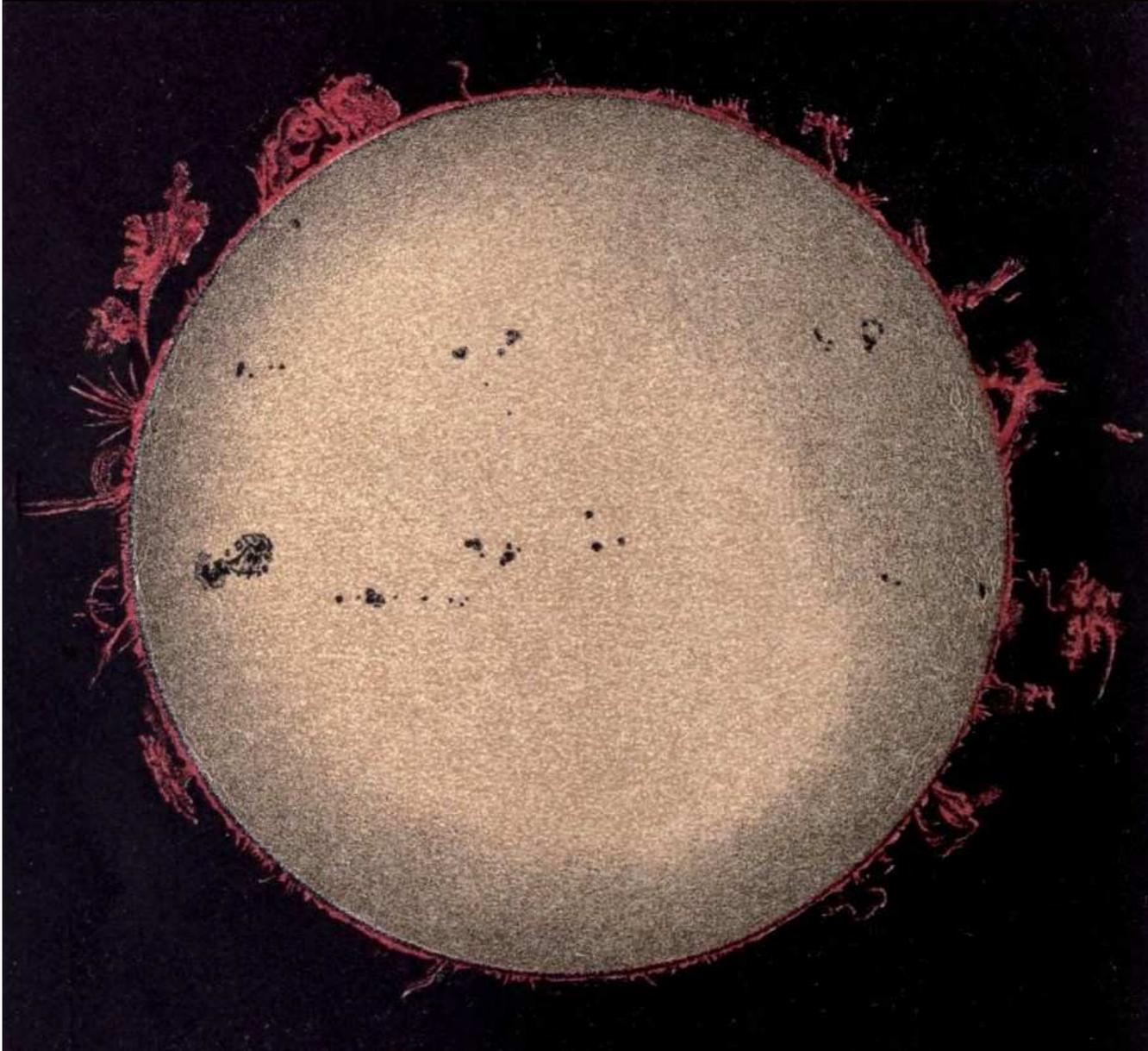
1852: Edward Sabine (1788-1883) découvre la corrélation entre l'activité géomagnétique (fluctuations du champ magnétique terrestre) et l'activité solaire



*1845: première révolution ; Hippolyte Fizeau (1819-1896) et
Léon Foucault (1819-1868) réalisent le premier daguerréotype
du Soleil*

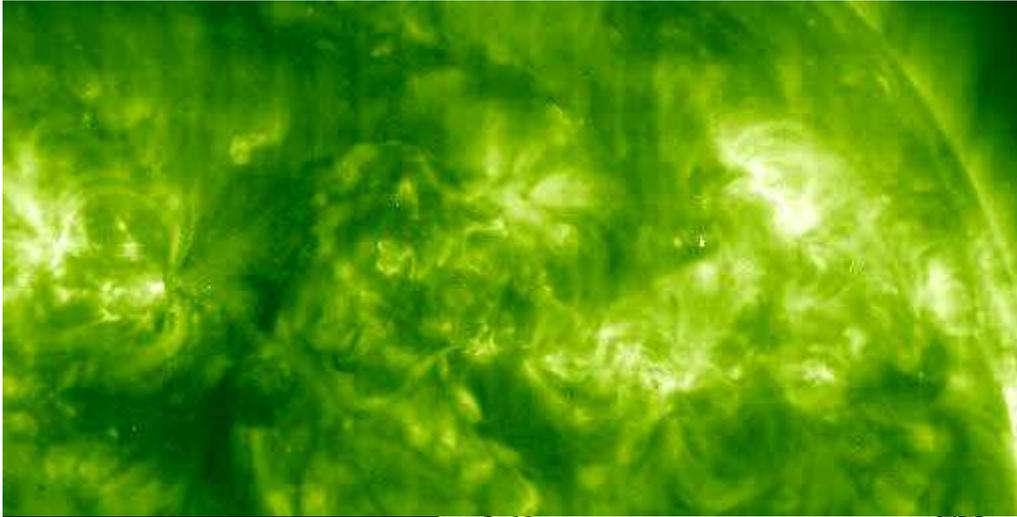


*La photographie mettra fin au dessin... Ici les pastels
d'Etienne Trouvelot (1827-1895)*



protubérances

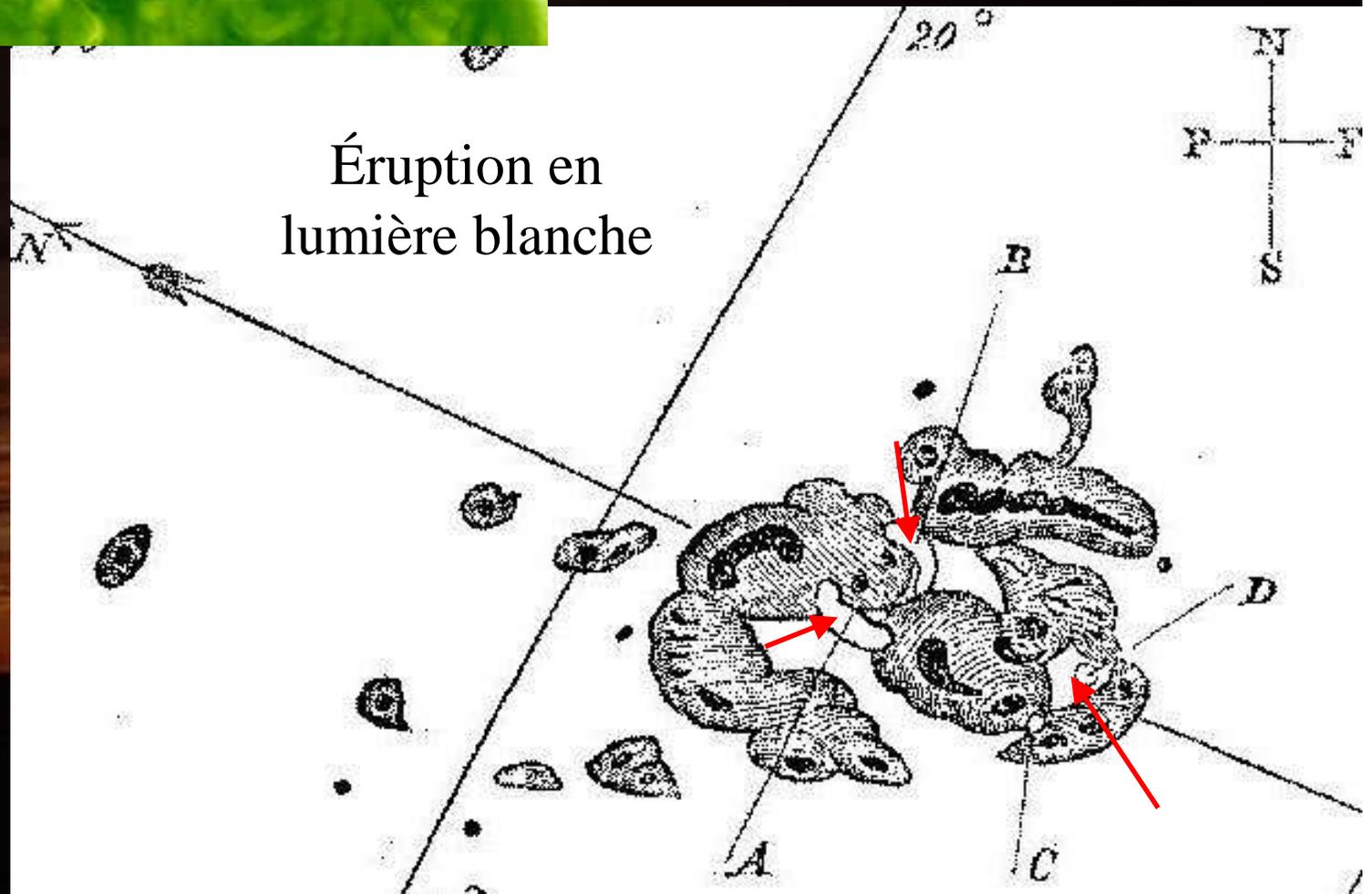




*1858: Richard Carrington
(1826-1875) découvre la
rotation différentielle du Soleil
et observe la première
éruption solaire*

*Le Soleil
tourne plus
vite à
l'équateur*

Éruption en
lumière blanche



*L'éclipse du 18 Août 1868 : **seconde révolution** ; le triomphe de la spectroscopie*

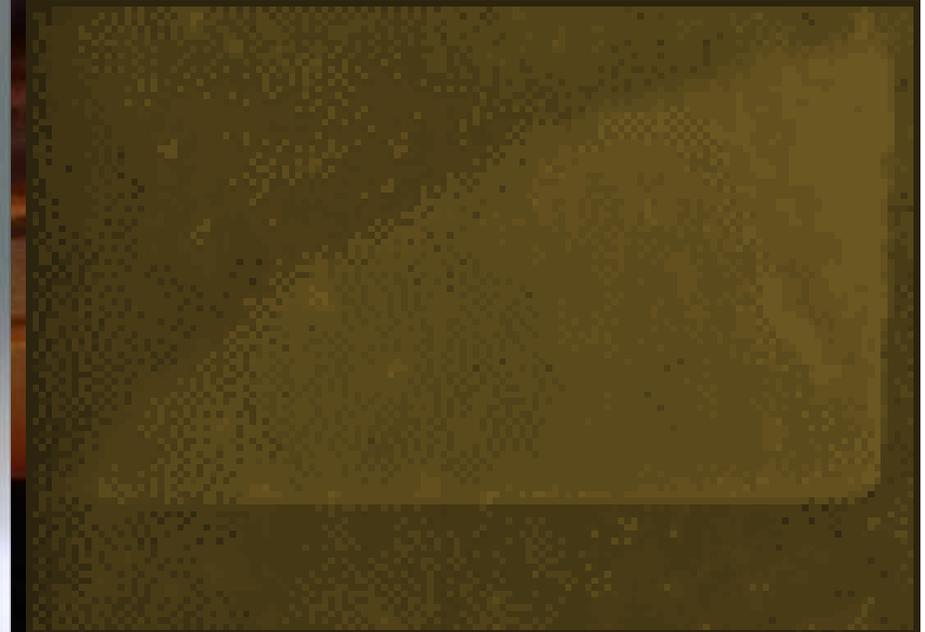
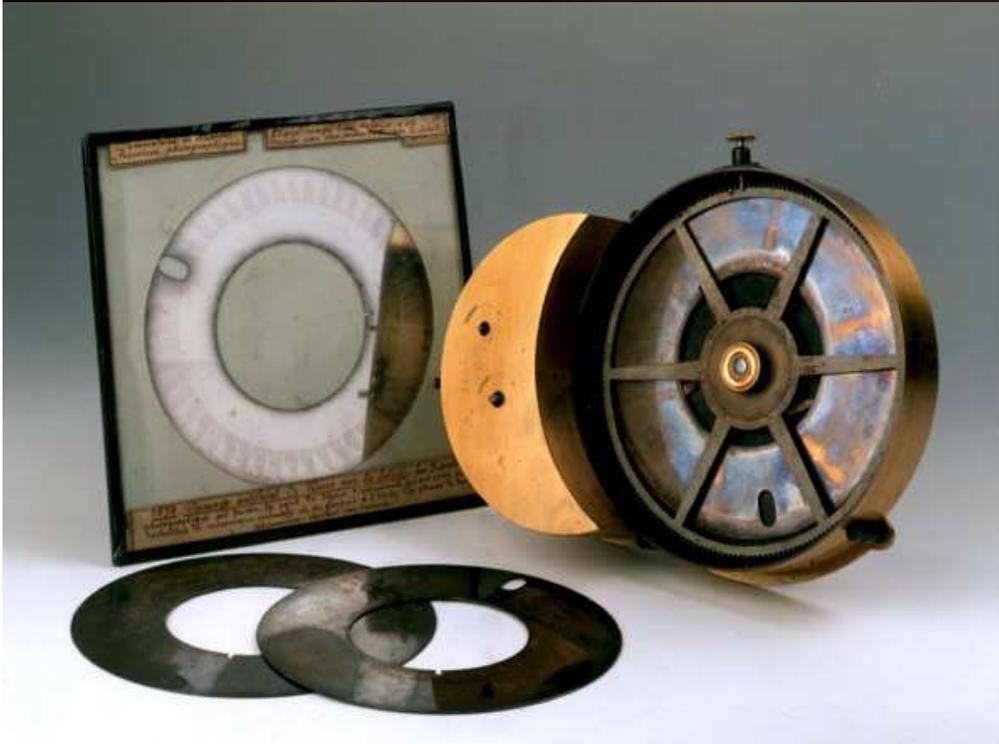
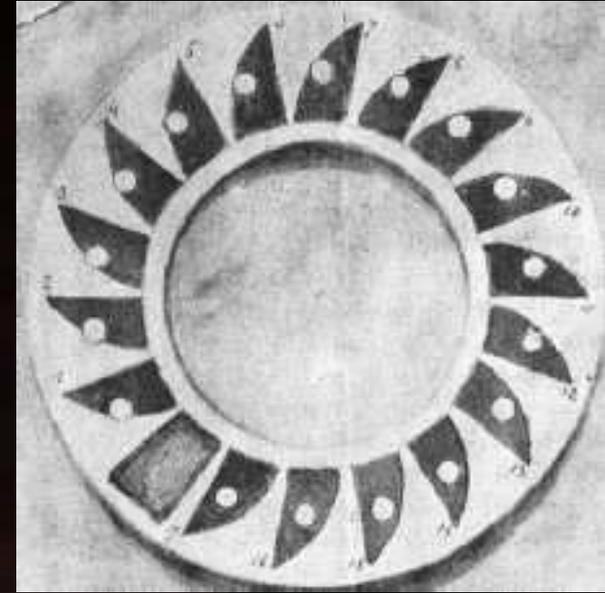
Jules Janssen (1824-1907) et Norman Lockyer (1836-1920) démontrent la possibilité d'observer les protubérances hors éclipse





1874

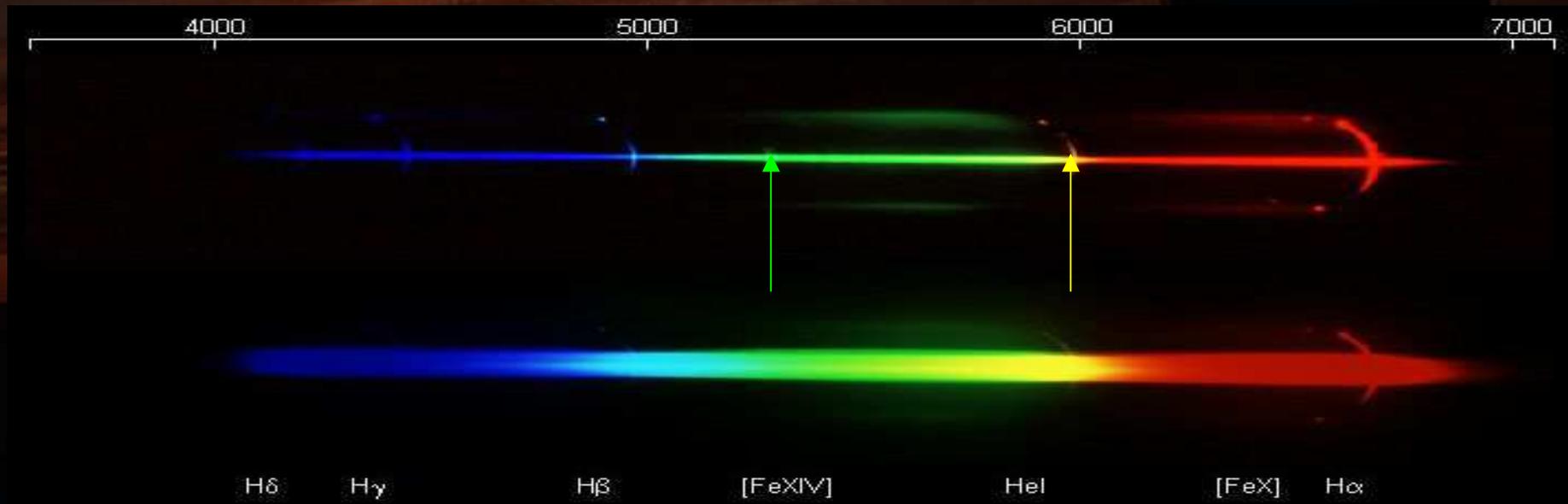
*Janssen et le revolver
photographique, ancêtre du
cinématographe*



L'éclipse du 18 Août 1868 ou le triomphe de la spectroscopie:

*Jules Janssen (1824-1907) et Norman Lockyer (1836-1920)
découvrent l'**HELIUM** par sa signature dans le spectre du Soleil
(raie jaune HeI D3 587.5 nm)*

Eclipse du 7 Août 1869: *Thomas Young (1834-1908) découvre les
raies « interdites » de la couronne (la « raie verte »); le nouvel
élément en cause est baptisé **CORONIUM** et sera identifié 70 ans
plus tard comme émis par le Fer 13 fois ionisé à 530.2 nm*



Fe XIV 530.2 nm

Raie « interdite »

*(désexcitation radiative
lente inobservable en
dehors des plasmas chauds
à 10^6 K et très dilués) →*

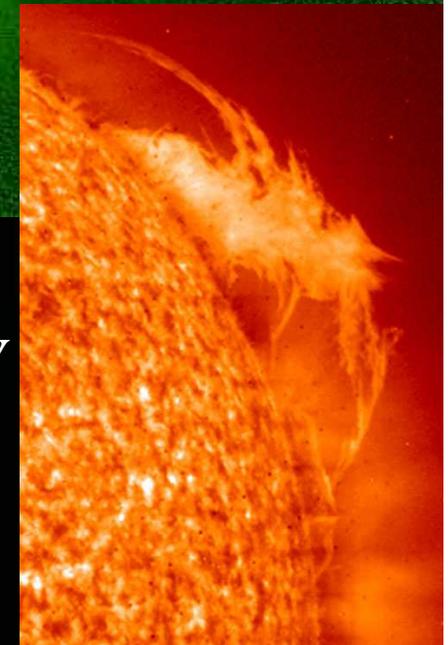
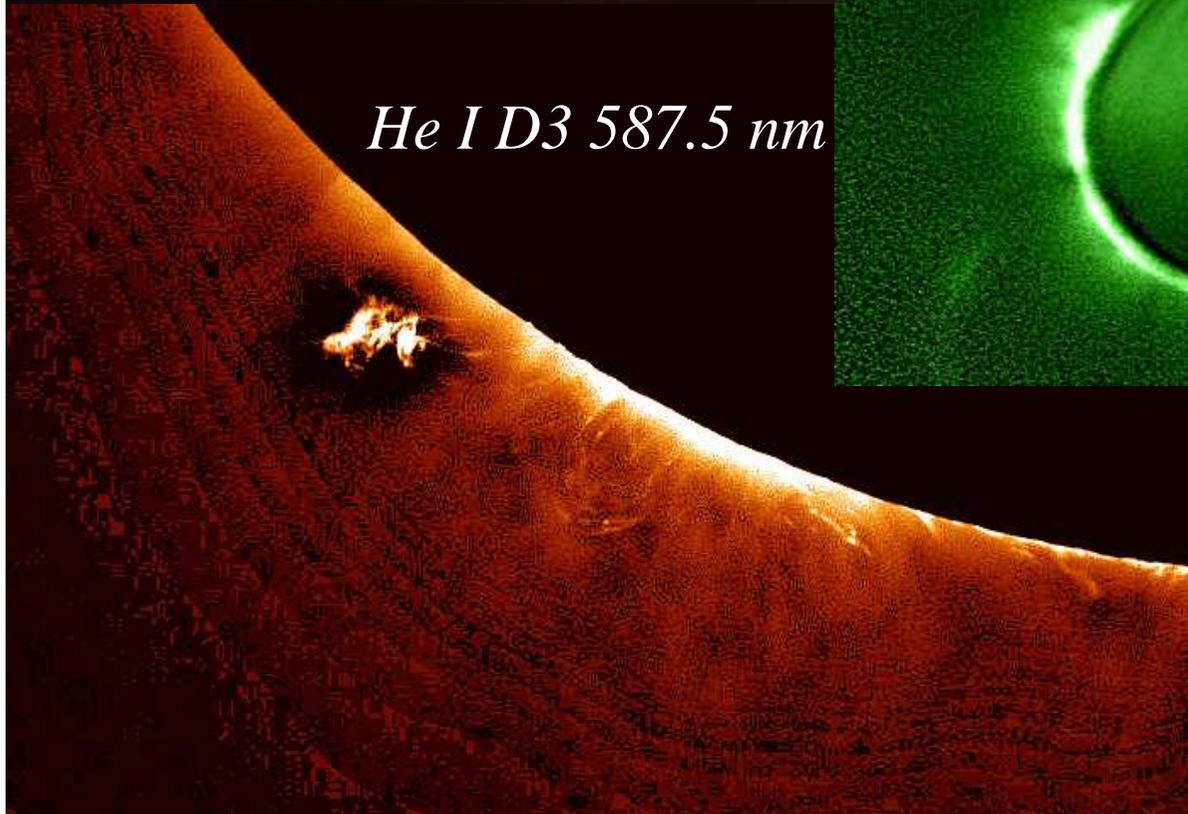
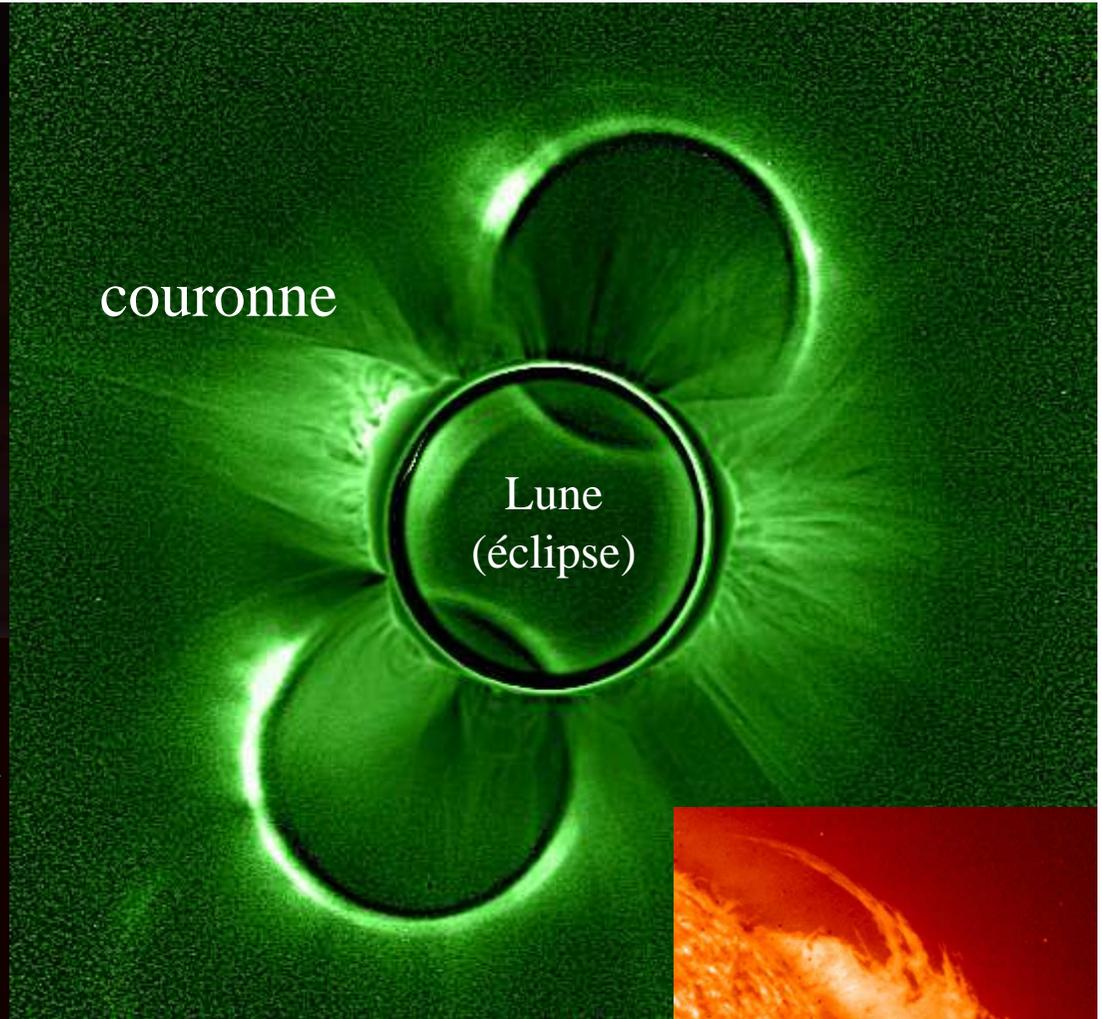
couronne

Lune
(éclipse)

He I D3 587.5 nm

He II EUV

30.4 nm

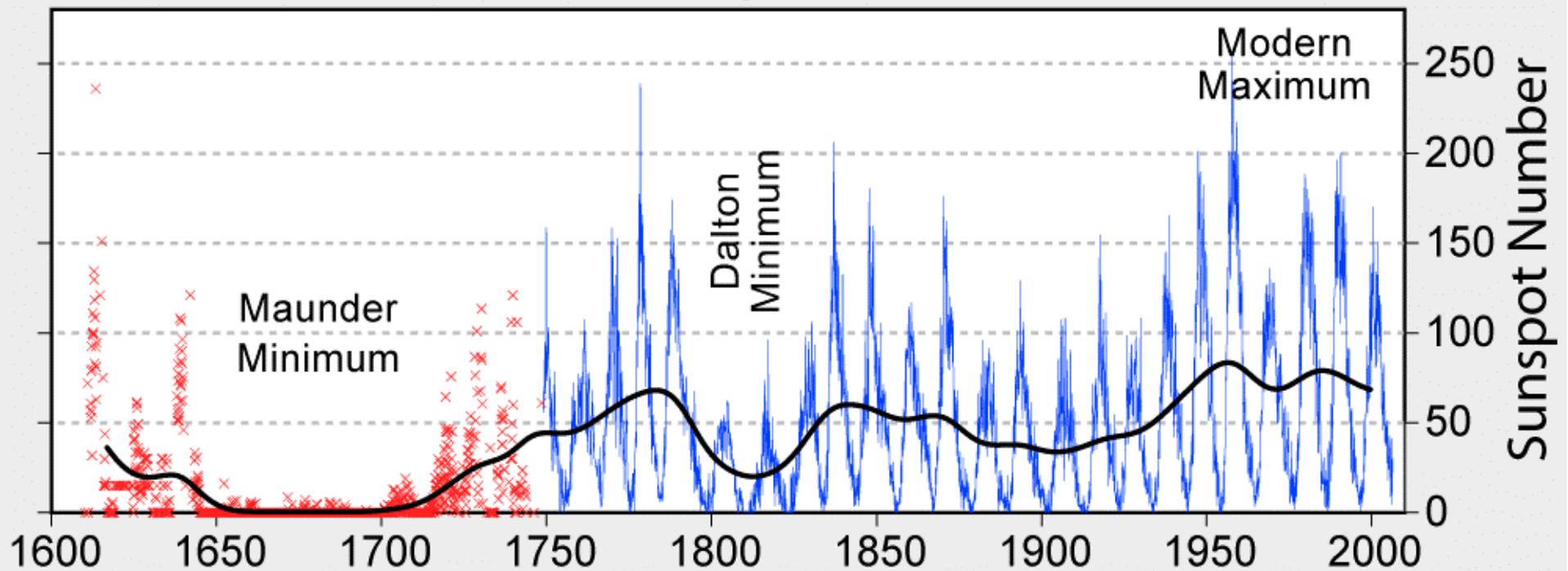


Les anomalies du cycle solaire

Le Minimum de Maunder

1645-1705

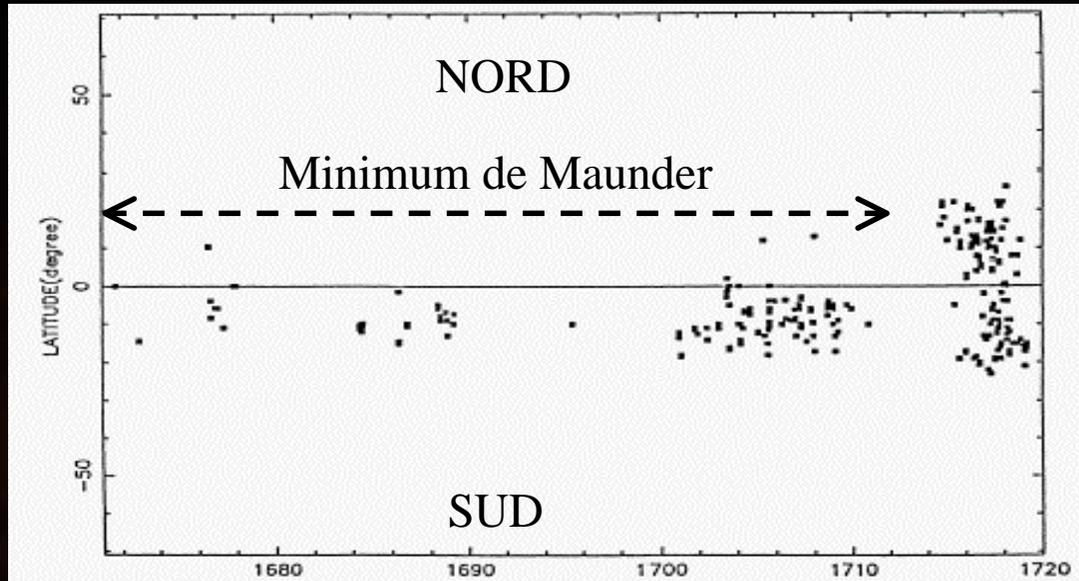
400 Years of Sunspot Observations



1890: Gustav Spörer (1822-1895) et Edward Maunder (1851-1928) découvrent le minimum prolongé de 1645-1705

« C'est la 3ème tache qui a paru en cette année 1676, dans laquelle elles ont été plus fréquentes qu'elles n'avoient été pendant 20 années précédentes... Elle fut aperçue par Monsieur Picard en prenant la hauteur du Soleil pour la rectification des horloges le matin du trentième d'Octobre... »

J.-D. Cassini, archives de l'Académie

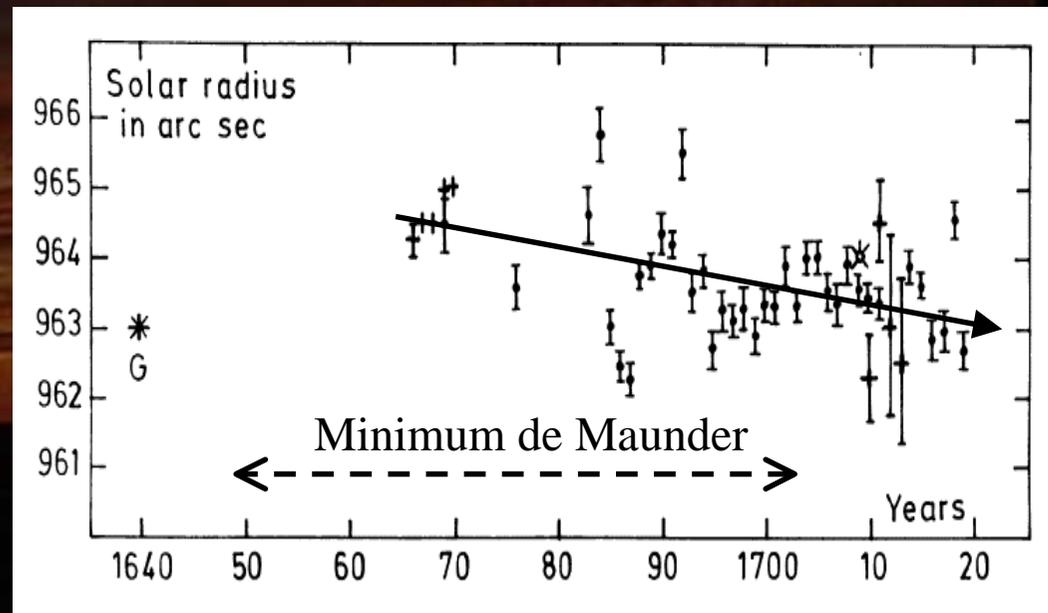


*Minimum de Maunder
1645-1705 :*

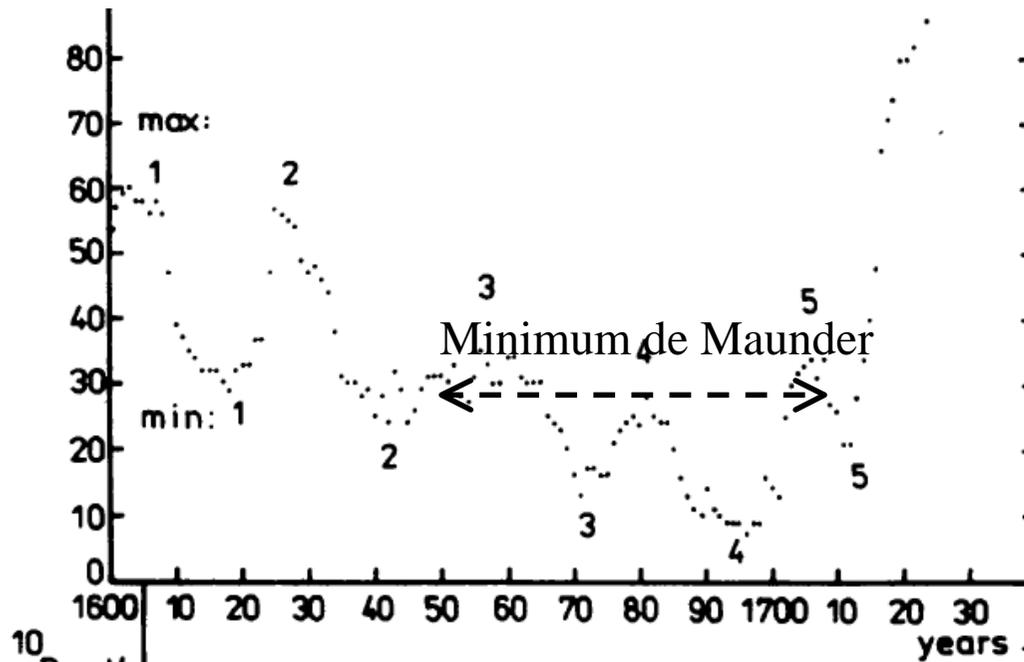
*Asymétrie Nord Sud des
taches ?*

Minimum de Maunder : une interrogation fondamentale laissée par le XVIIème siècle

*Observations
de Picard et
La Hire*



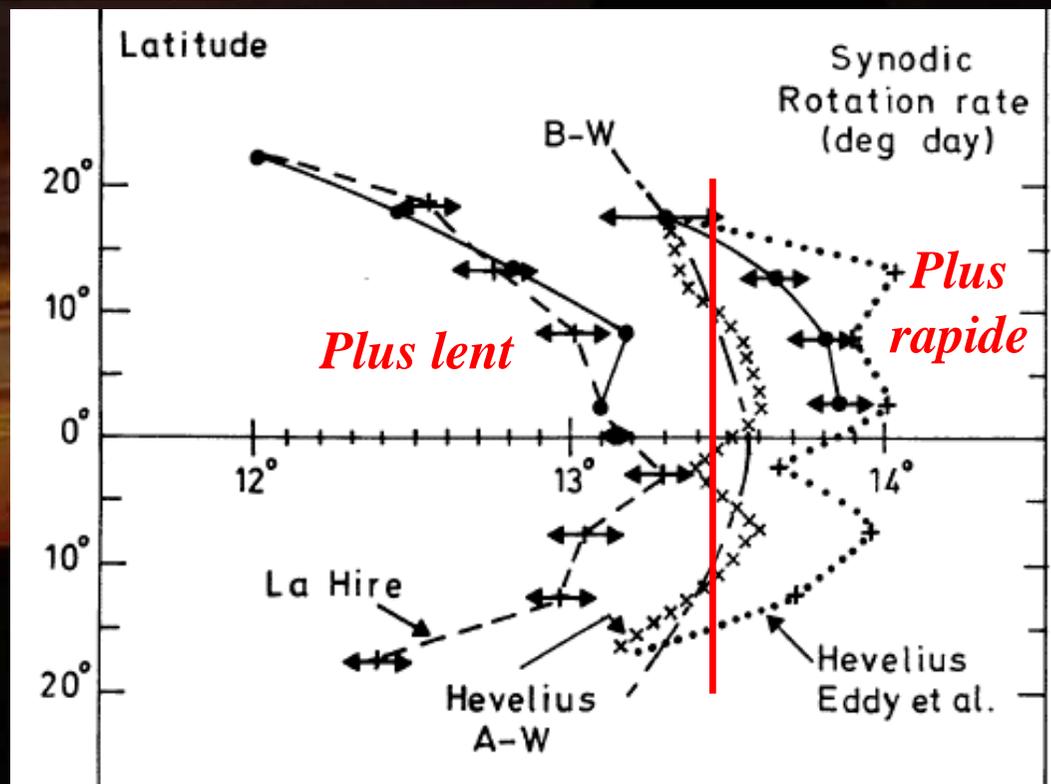
*Minimum de
Maunder :
Soleil plus gros ?*



**Minimum de Maunder 1645-1705
une interrogation fondamentale
laissée par le XVIIème siècle**

← *Diminution des aurores boréales, mais le cycle solaire semble rester présent*

anomalie possible de la vitesse de rotation des taches (résultats contradictoires selon les observateurs et les interprétations) →



XVII-XVIIIème siècle
Petit âge glaciaire



XIXème siècle

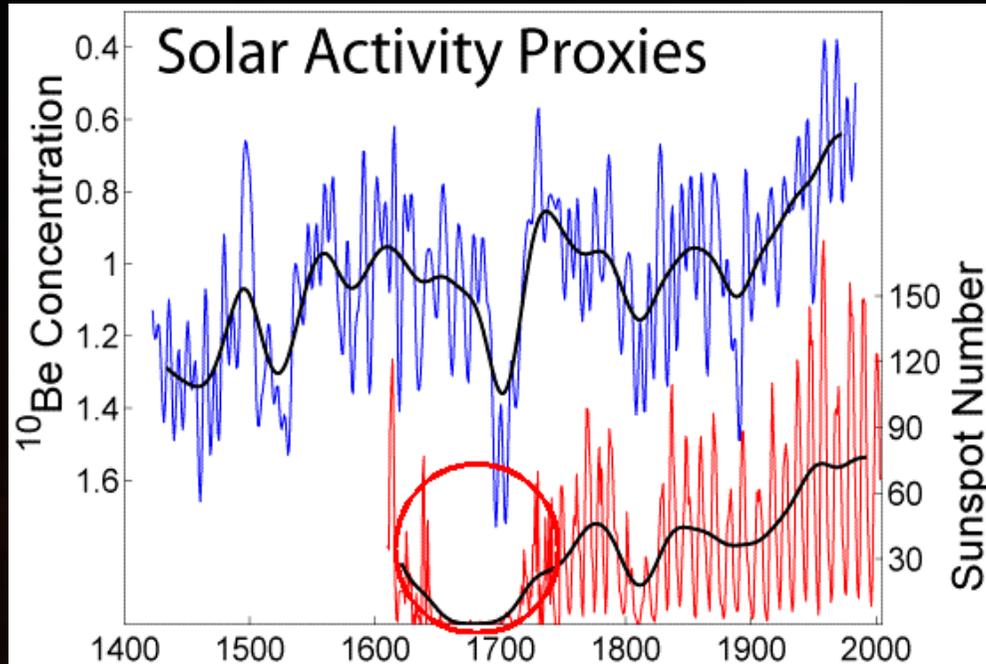


Vague de froid en Europe: le petit âge glaciaire (1550-1700)
Avancée des glaciers; la Tamise gelée durant plusieurs mois en hiver

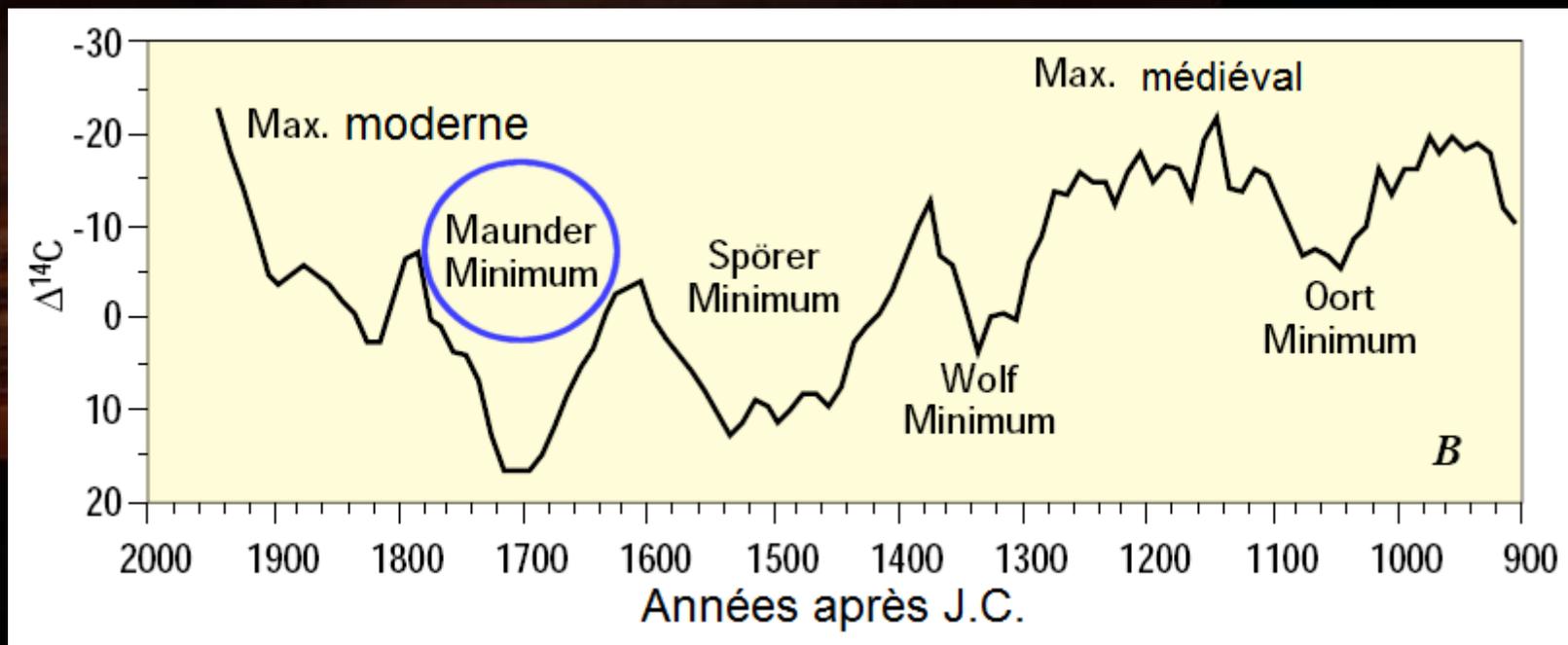


L'air du génie
du froid / Opéra
du Roi Arthur
d'Henry Purcell
(1659-1695)
est-il inspiré de
cet épisode ?





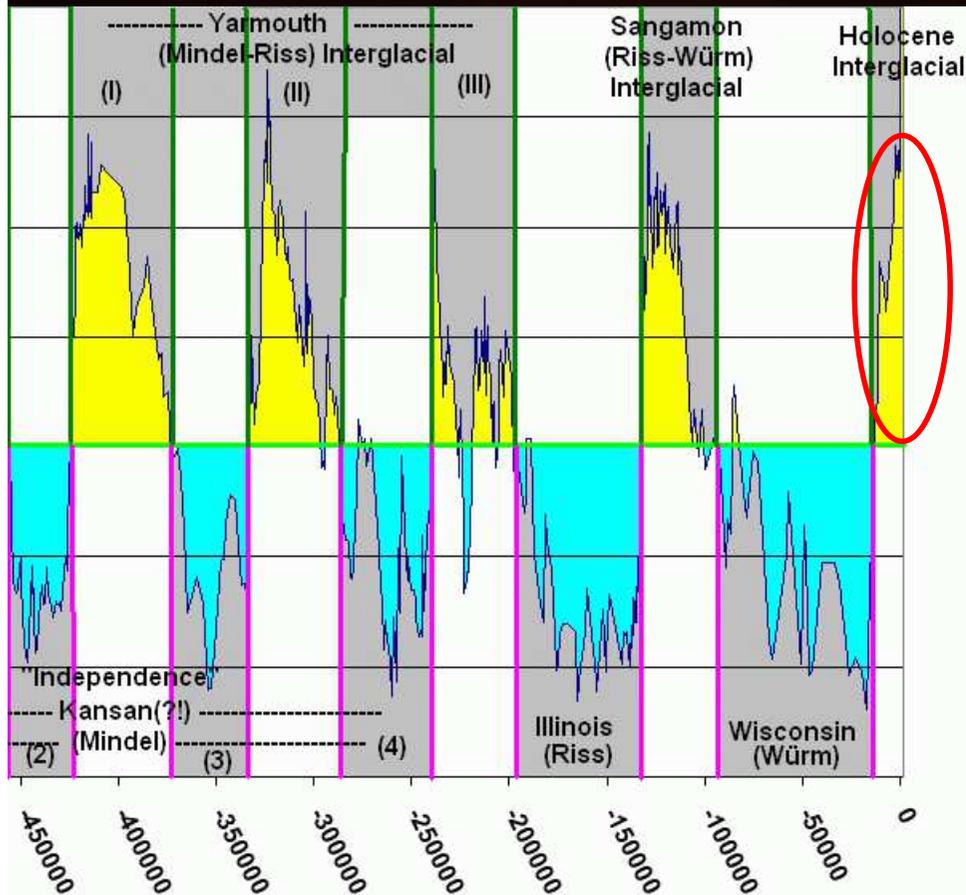
La mesure de la concentration des isotopes cosmogéniques ^{14}C et ^{10}Be produits dans l'atmosphère permet de reconstruire l'activité solaire sur le long terme (l'intensité des rayons cosmiques est plus faible au maximum car ils sont déviés par le champ magnétique fort)



A person in silhouette is shown from the back, looking out over a vast desert landscape at sunset. The sky is a mix of orange, yellow, and dark blue, with the sun low on the horizon. The foreground shows the dark silhouette of the person's head and shoulders. The overall mood is contemplative and serene.

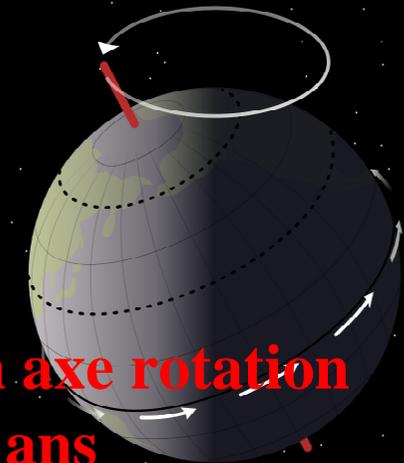
Variabilité
solaire et lien
avec le climat ?

Les variations longues du climat (100000 ans, cycles de Milankovitch, 1941) sont de nature purement astronomique

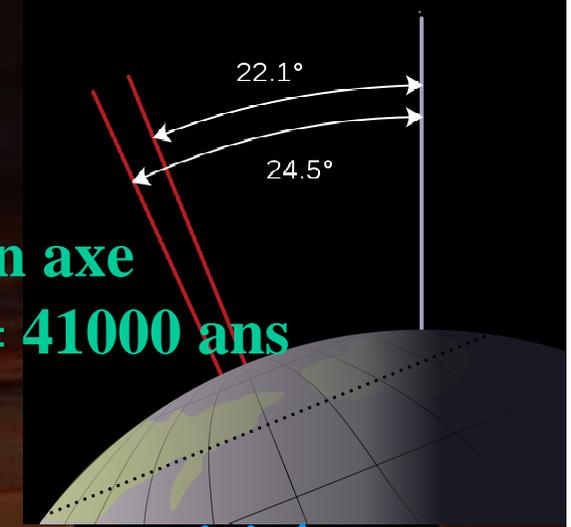


Température (concentration CO₂) → Cycles glaciaires/interglaciaires (interglaciaire depuis 12000 ans)

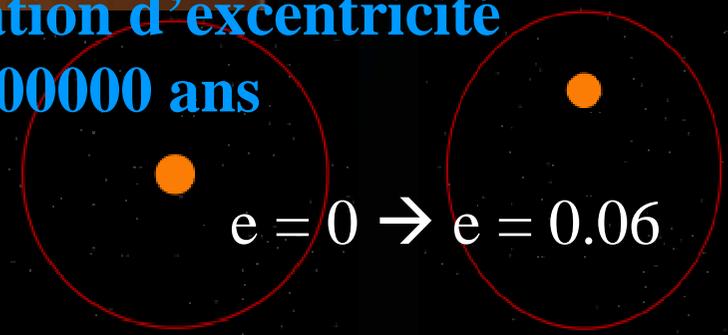
Précession axe rotation
T = 26000 ans



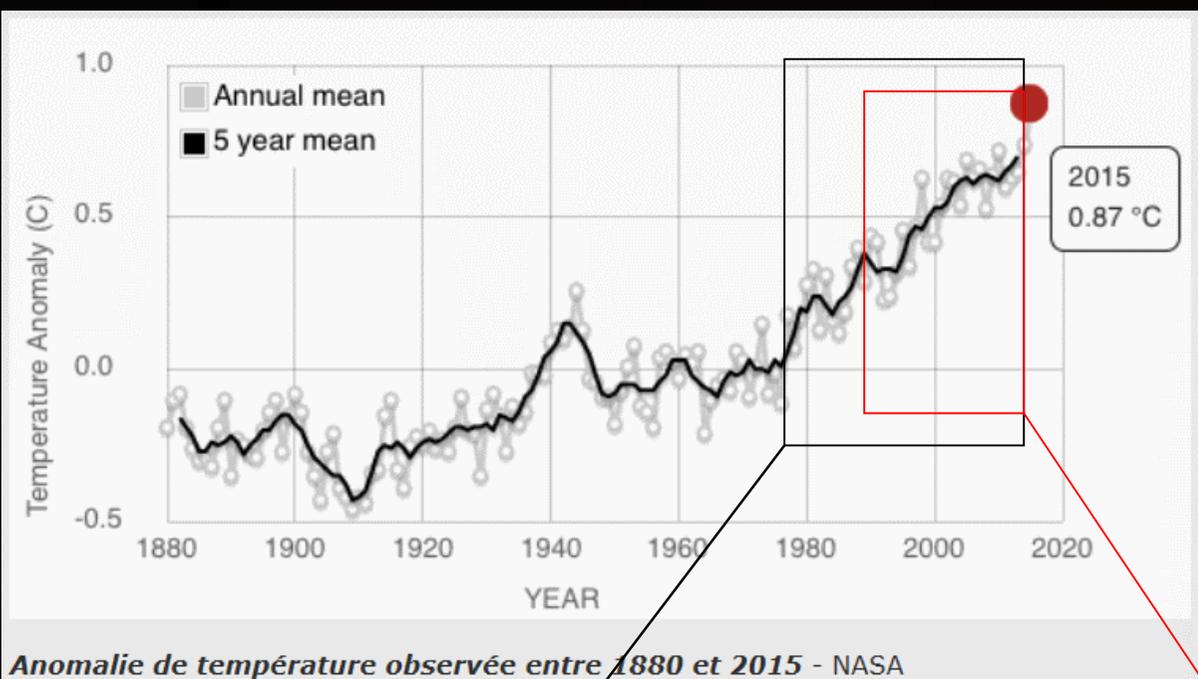
Variation d'inclinaison axe rotation
T = 41000 ans



Variation d'excentricité
T = 100000 ans

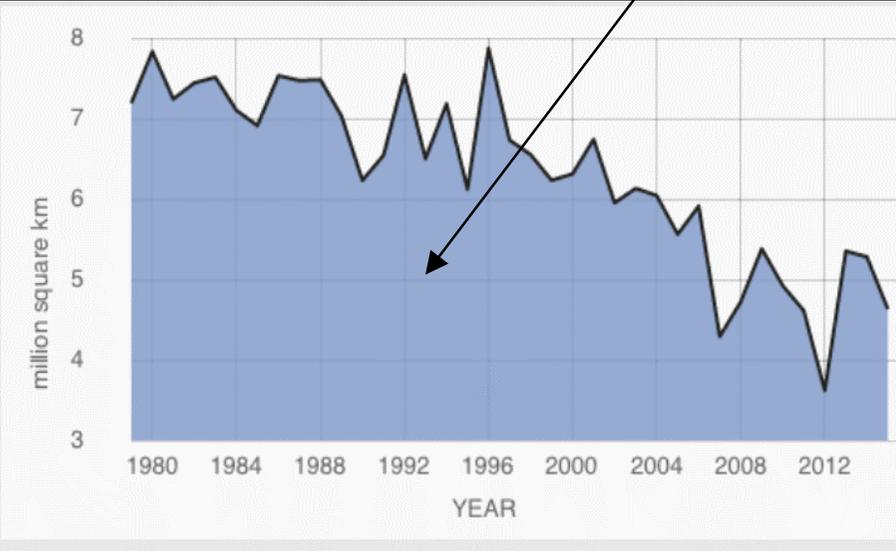


$$e = 0 \rightarrow e = 0.06$$

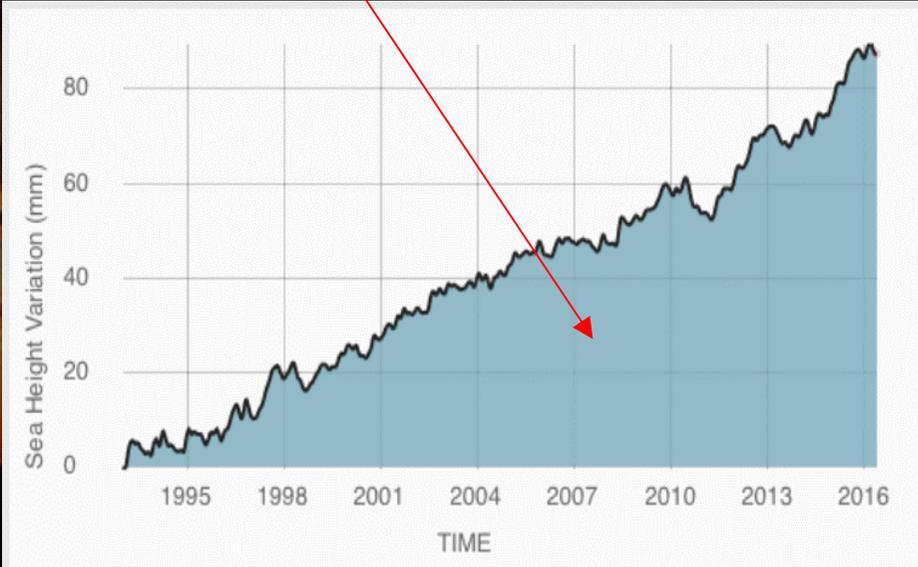


Anomalie de température observée entre 1880 et 2015 - NASA

Variation récente du climat à l'échelle humaine (centennale) depuis l'ère industrielle; quelle est la part de la variabilité solaire ?



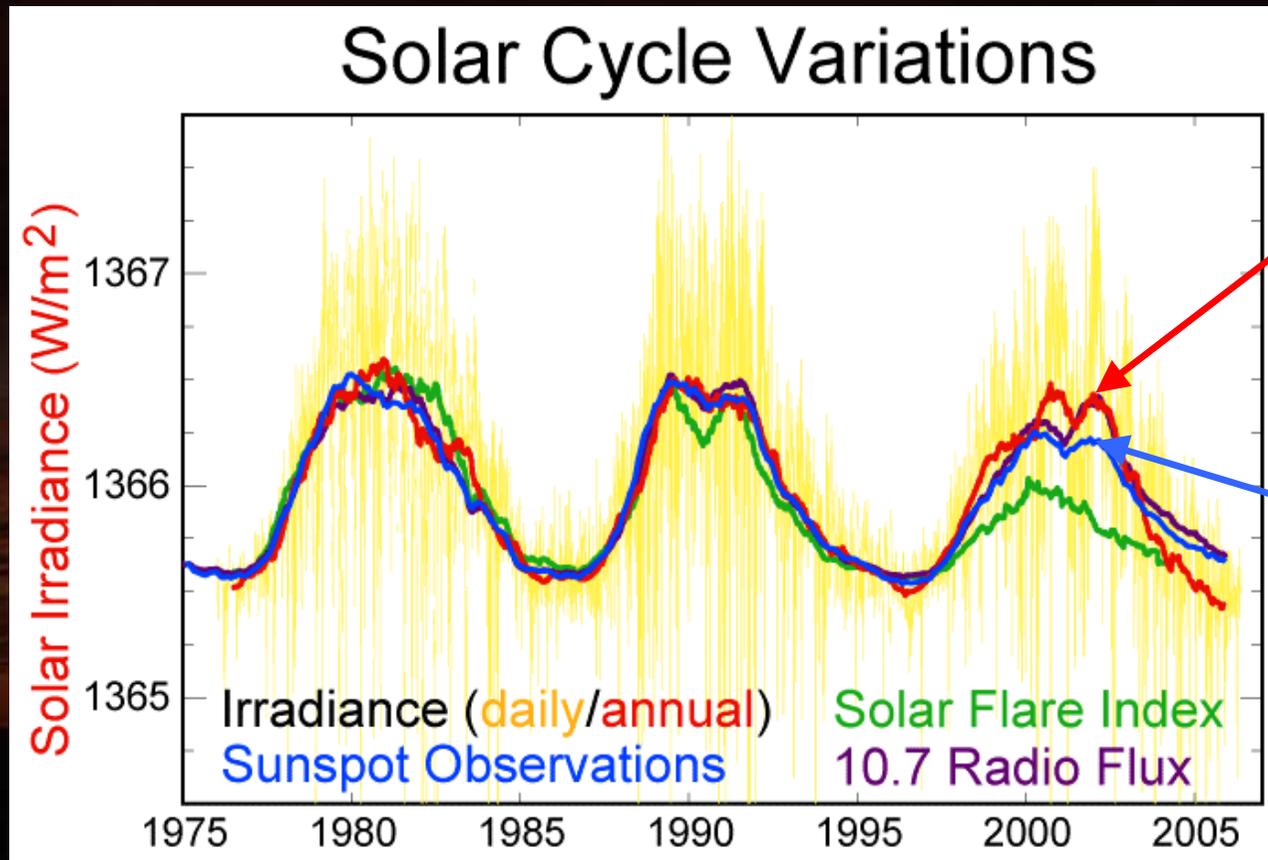
Evolution de la surface glacée de l'Arctique en septembre, entre 1979 et 2015 NASA



Evolution de la hausse du niveau des océans entre 1993 et 2016 (en millimètres) - NASA

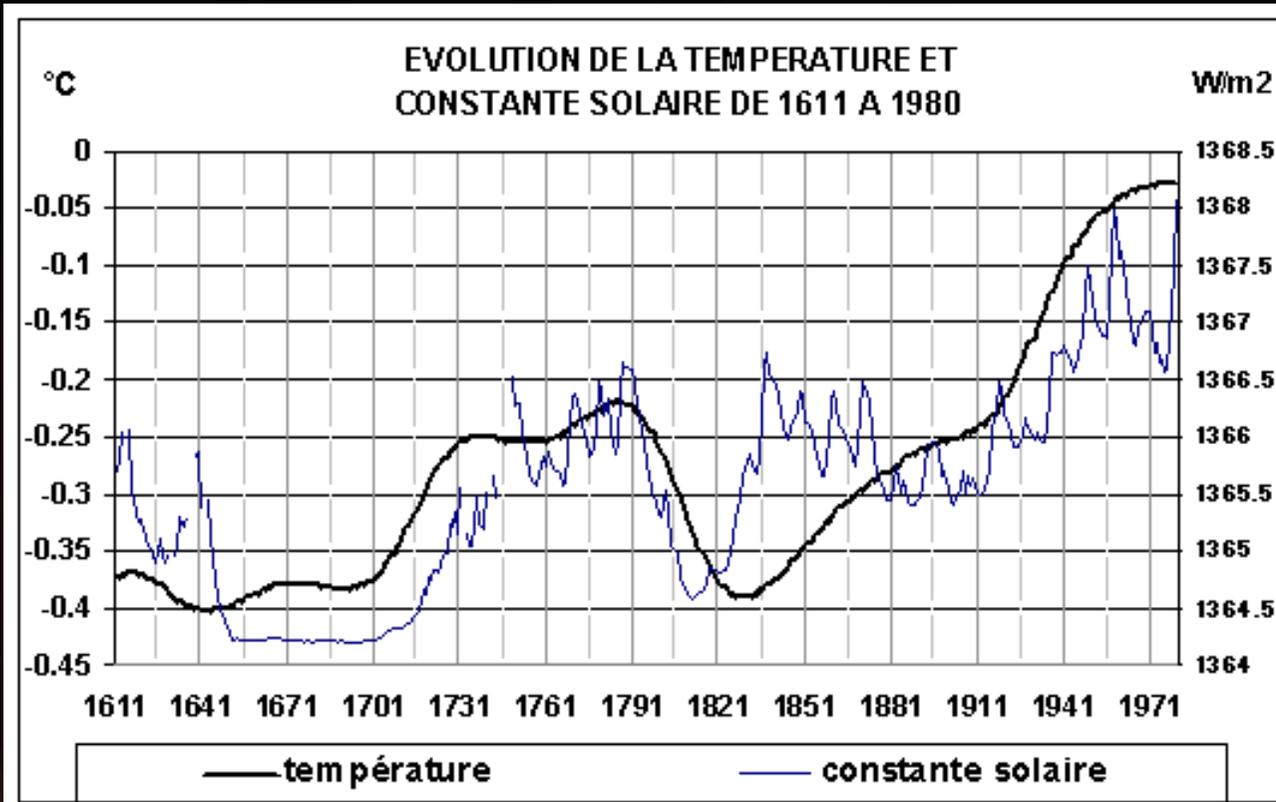
VARIATIONS COURTES DU CLIMAT

La corrélation entre l'activité solaire et l'irradiance permet de reconstruire la **variation d'irradiance** sur le court terme (100 ou 1000 ans)



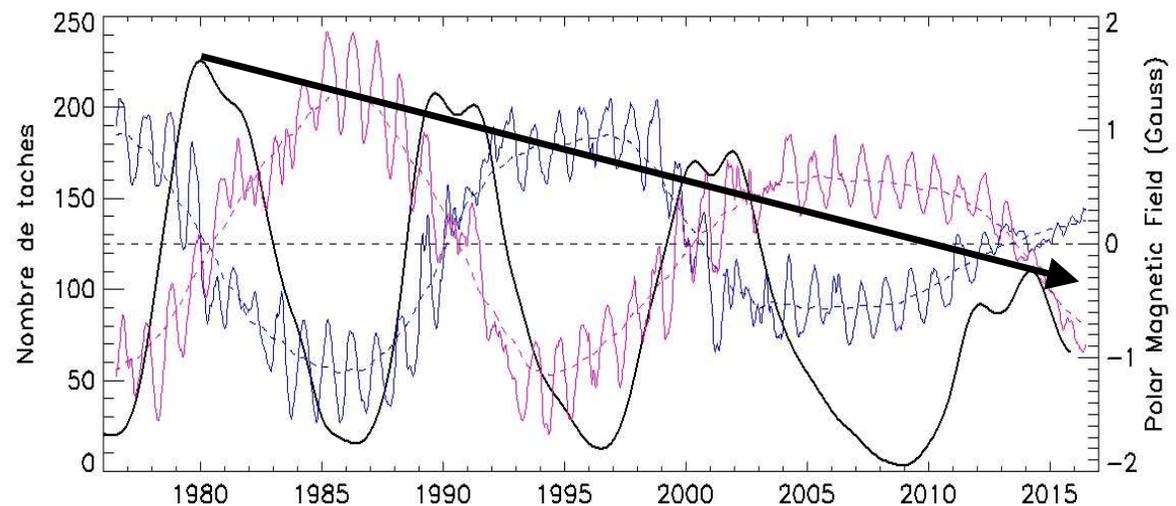
Irradiance

**Activité
solaire**



Bonne corrélation
température –
activité solaire
jusqu'en 1960. La
fin du petit âge
glaciaire (1550-
1700) coïncide avec
le Minimum de
Maunder (1650-
1700)

Les cycles solaires
22, 23, 24
décroissants vont à
l'encontre d'une
influence solaire au
réchauffement actuel

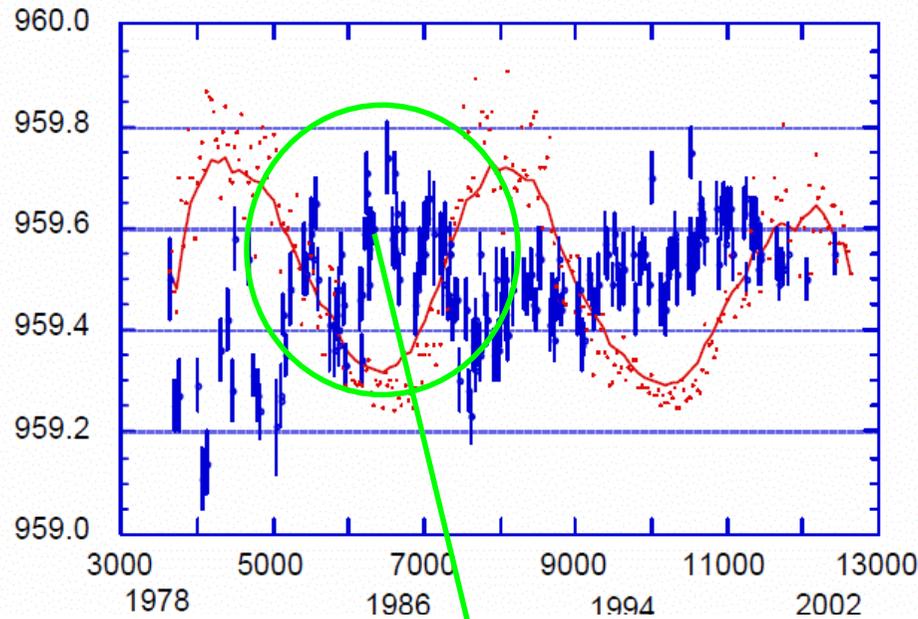


DEMI-DIAMETRE A CALERN

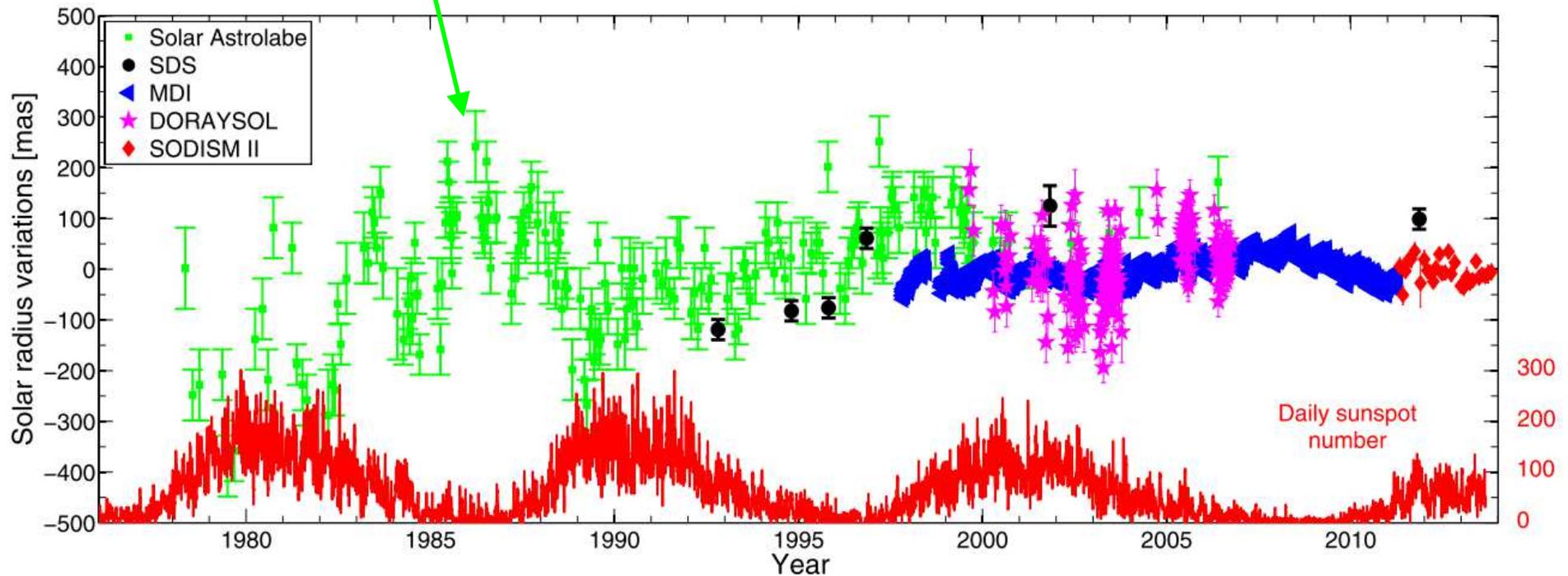
(1978 - 2002)

• RAYON (Groupes de 40 mesures au zénith)

SUNSPOT NUMBERS (Echelle arbitraire)



Le diamètre solaire varie t-il ? Est-il plus gros au minimum solaire ? Quel lien avec la variation d'irradiance solaire et le climat ?



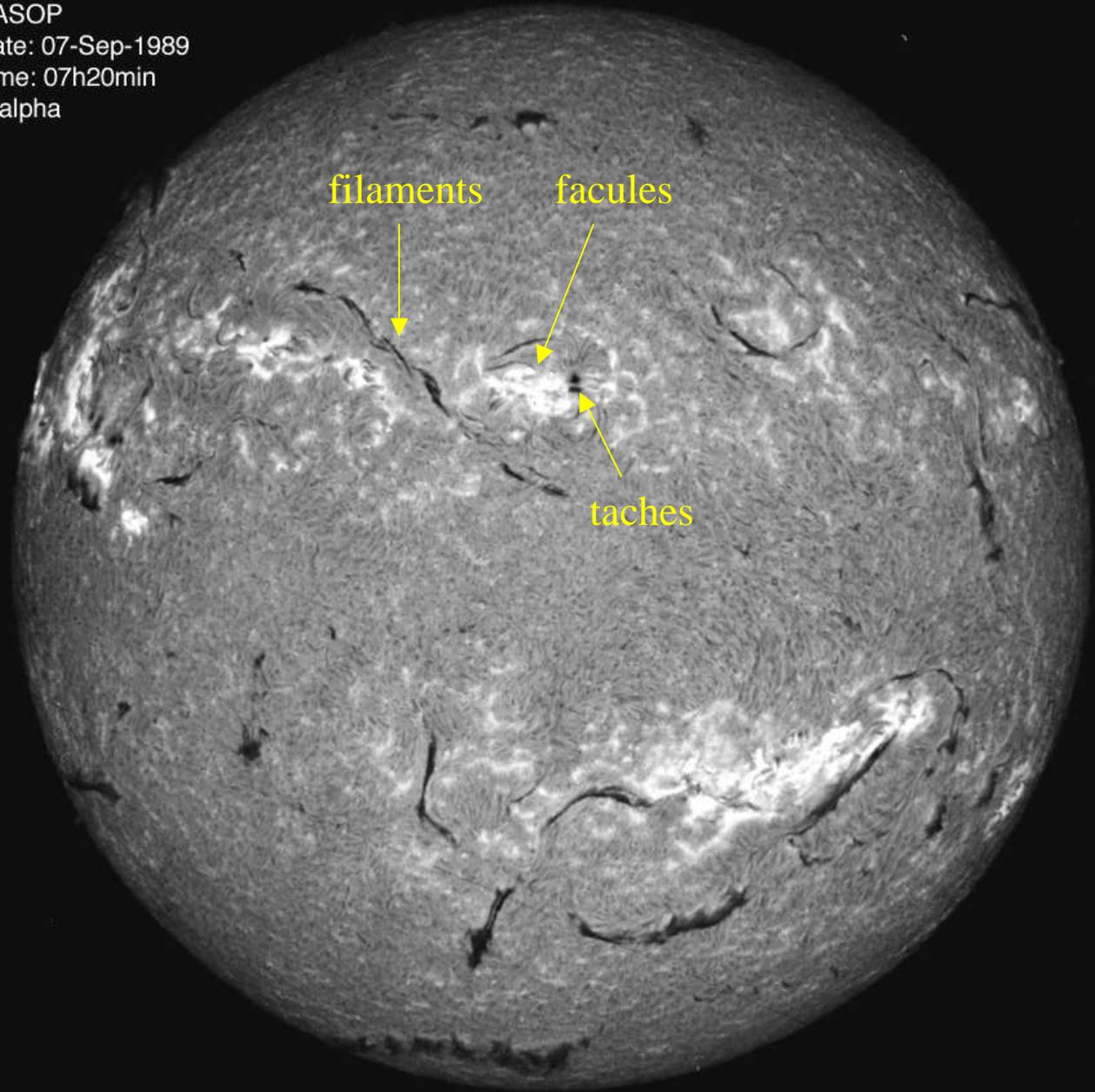


XX^{ème} siècle

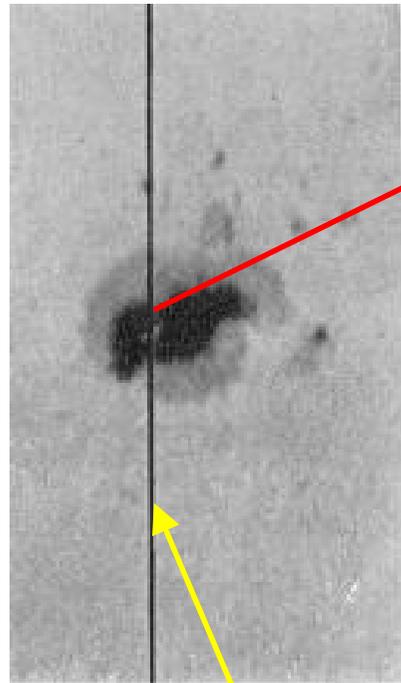
1909:

*Henri Deslandres
(1853-1948) et
George Hale, USA
(1868-1938)
inventent le
spectro
héliographe
permettant de
produire des
images mono
chromatiques
(bande passante
0.025 nm)*

PARIS-MEUDON-OBSERVATORY
DASOP
Date: 07-Sep-1989
Time: 07h20min
H alpha

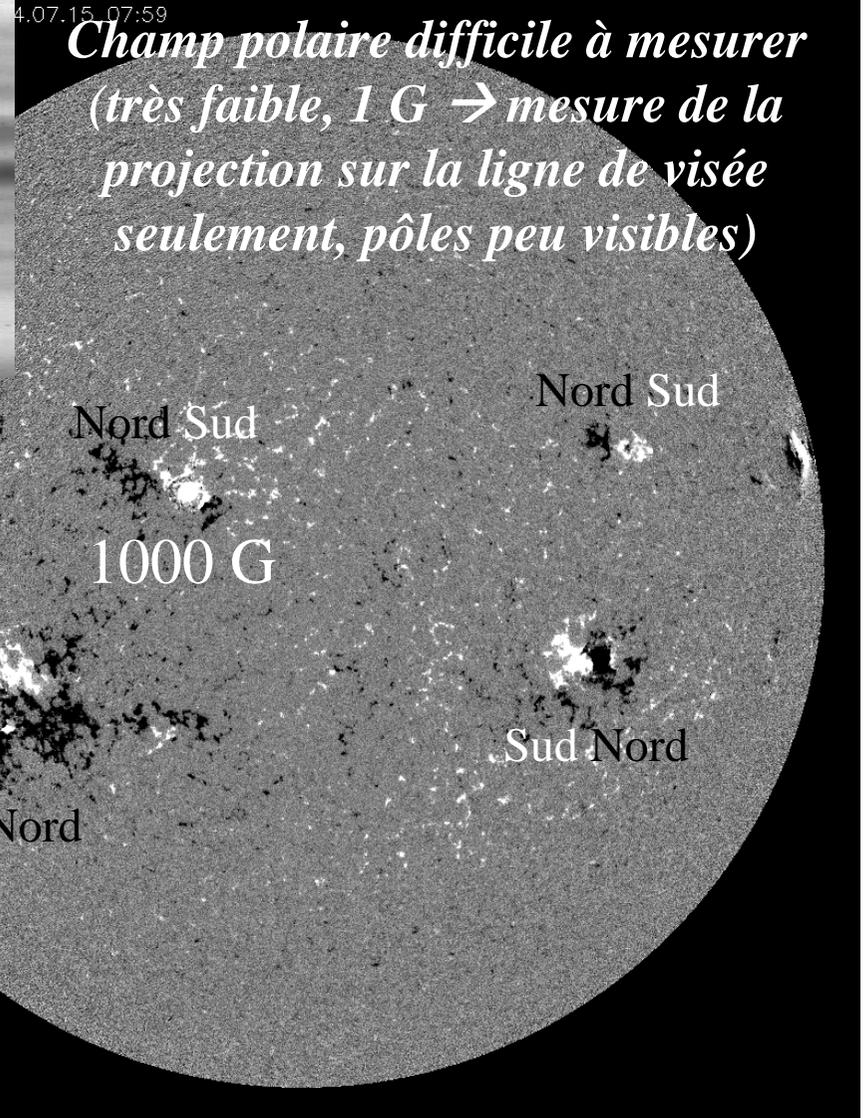
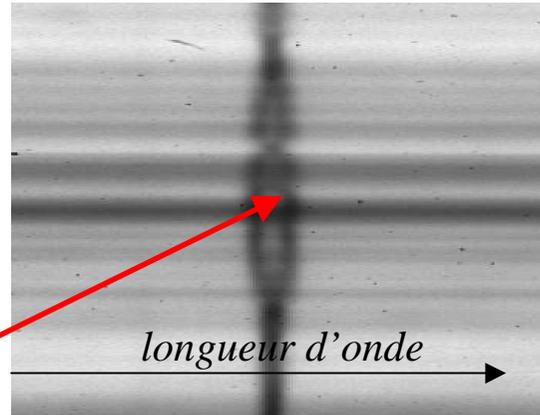


George Hale (1868-1938) découvre la nature magnétique des taches (1908) et le cycle de 22 ans (1919) en y observant l'effet Zeeman



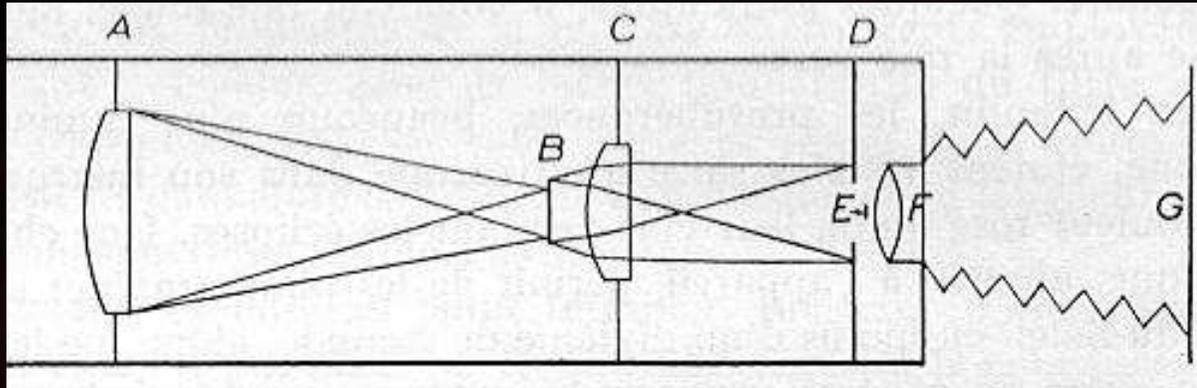
Fente d'analyse

Les raies spectrales se divisent en fonction de l'orientation du vecteur **B**.



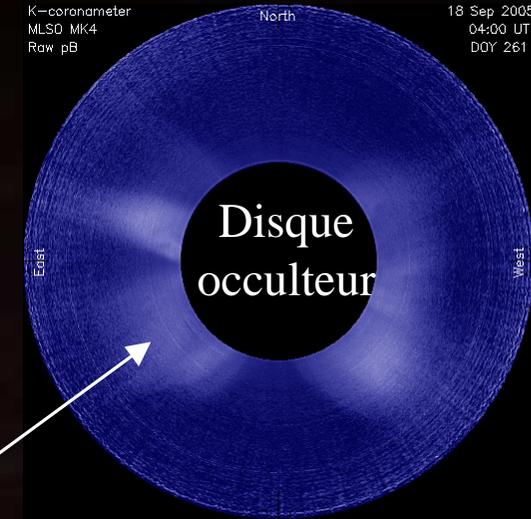
Champ polaire difficile à mesurer (très faible, 1 G → mesure de la projection sur la ligne de visée seulement, pôles peu visibles)

1931: Bernard Lyot (1868-1938) invente le coronographe qui Permet d'observer la couronne hors éclipse



K-coronameter
MLSD MK4
Raw pB

18 Sep 2005
04:00 UT
DOY 261



1932: Karl Jansky (1905-1950) découvre le rayonnement radio galactique

1942: les sursauts radio de la couronne solaire sont découverts par les radars anglais durant la 2ème guerre mondiale

1953: fondation de la station de radioastronomie de Nançay

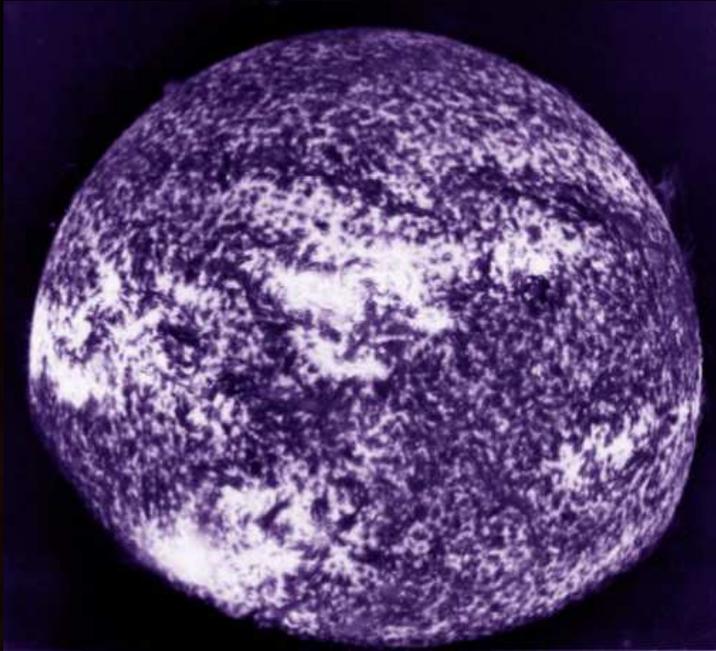
← Le radiohéliographe



Télescopes solaires au sol actuellement dans le monde

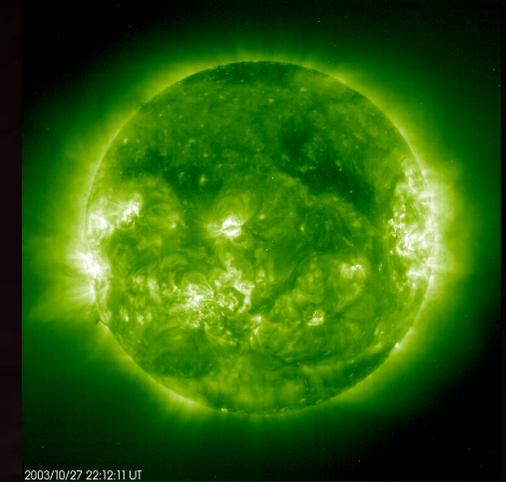


L'ère spatiale à
partir de 1980



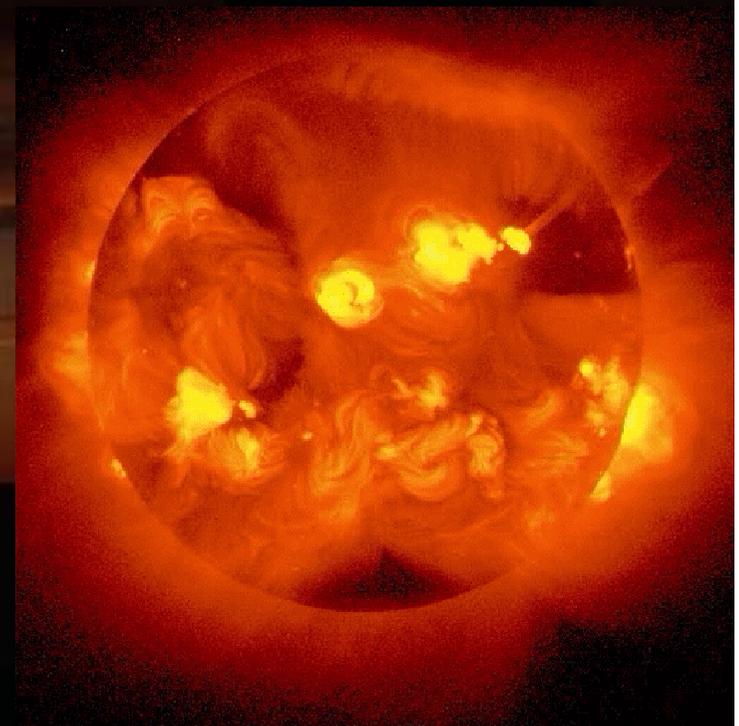
*Seconde moitié du XXème siècle:
l'ère spatiale, le soleil en UV et X*

*1996-2009: SOHO
FeXII 19.5 nm (1.4
10⁶K) →*



*1979: TRC Lyman alpha
121.6 nm (20000K)*

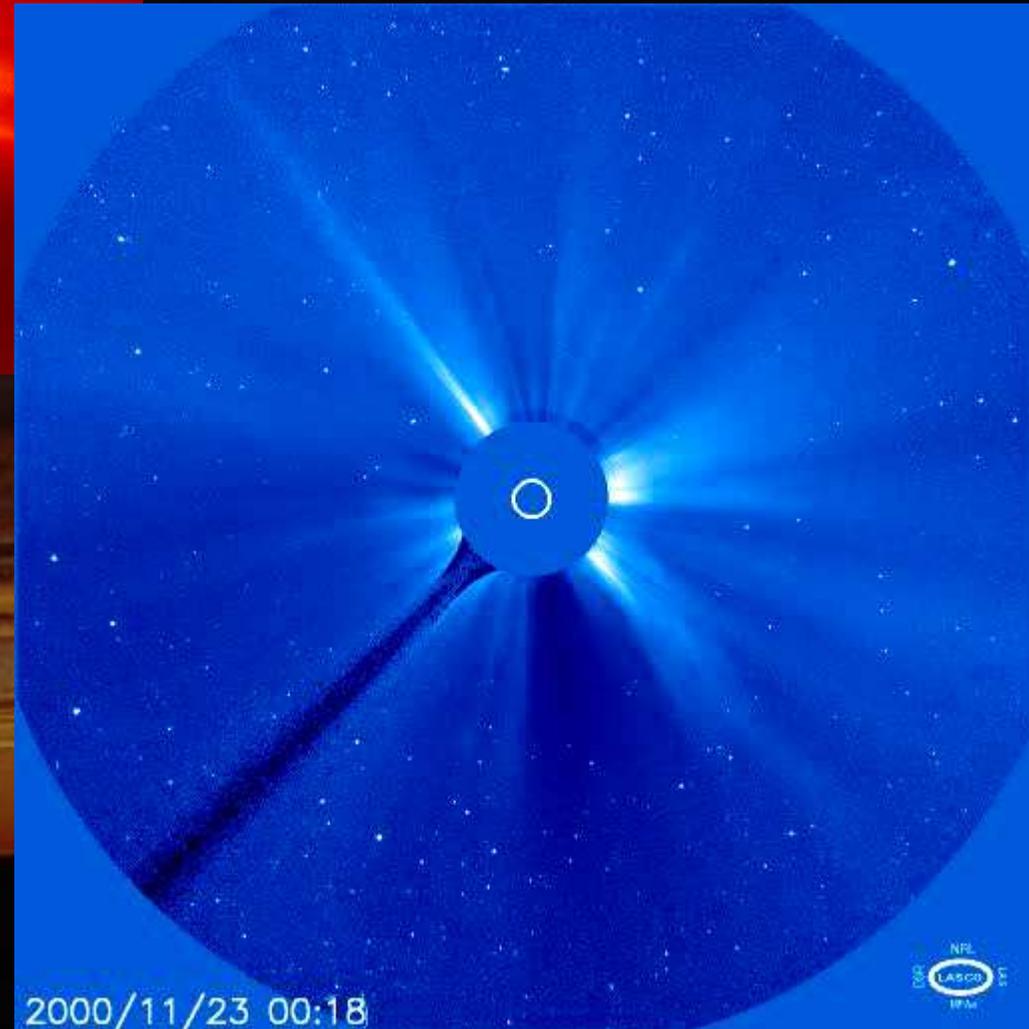
*1991-1999: Solar A (Yohkoh) observe
le cycle solaire en rayons X →*



*1996: SOHO au point de
Lagrange L1*

2002/02/20 00:06

*Les éjections de masse
coronale
suite à une éruption
ou à une instabilité d'un
filament
(Observation SOHO/ESA-
NASA, coronographe spatial
LASCO)*



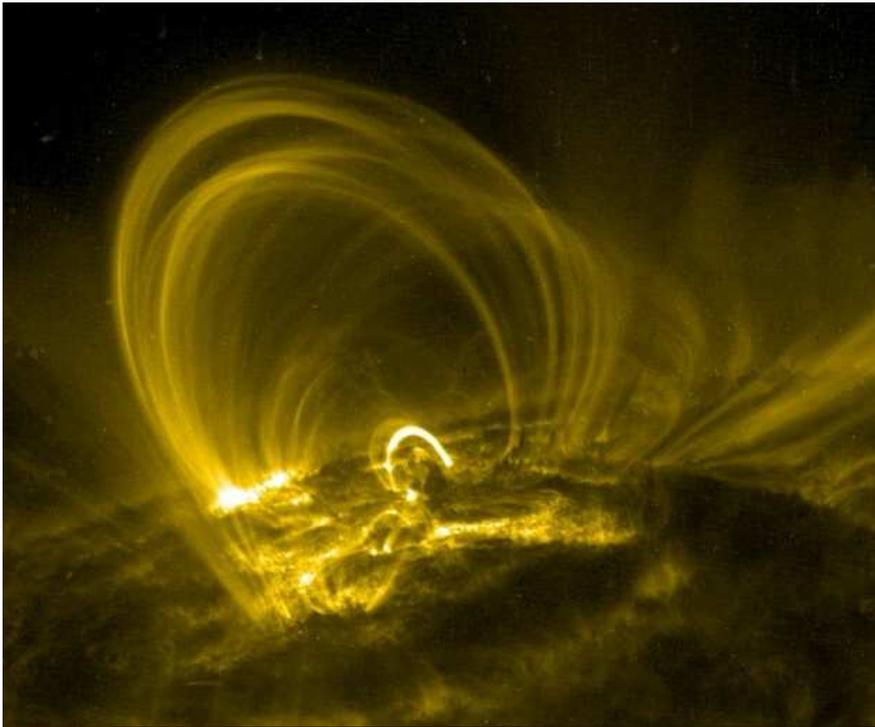
2000/11/23 00:18



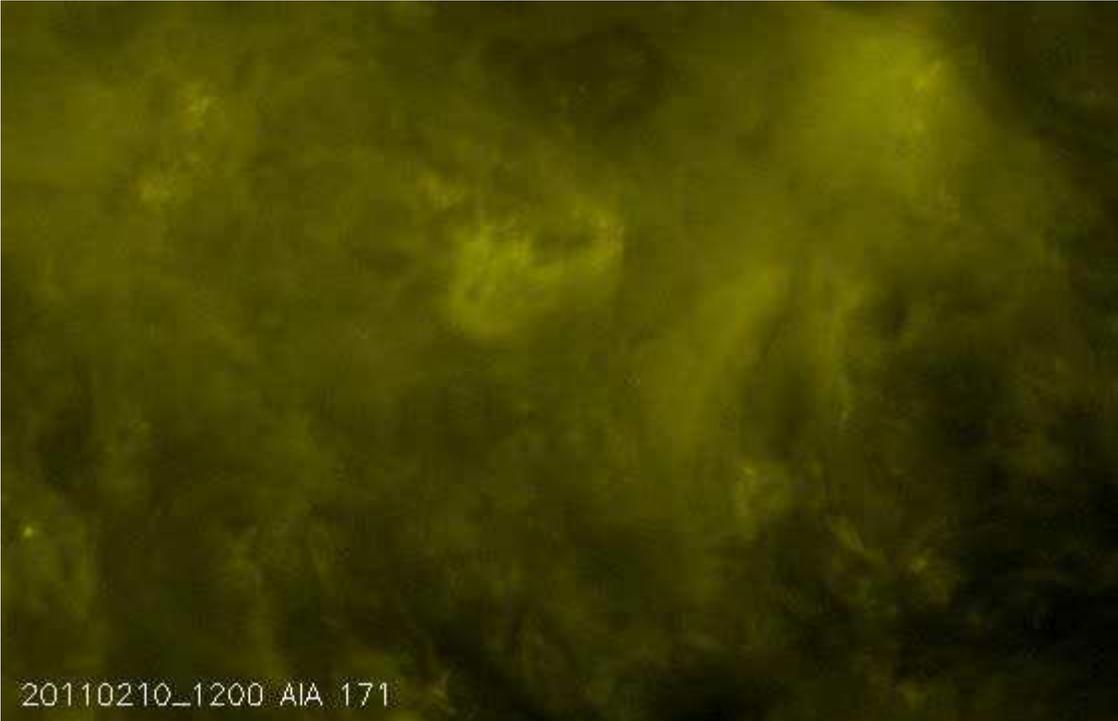
Transition Region And Coronal Explorer



*TRACE 1999
et l'imagerie
des champs
magnétiques
dans la
couronne*



2002-Apr-21
00:43:09



*SOLAR DYNAMICS
OBSERVATORY 2010*

*L'observation de l'activité
solaire à cadence élevée*

20110210_1200 AIA 171



*SOLAR DYNAMICS
OBSERVATORY*

*Essor de la météorologie
spatiale et de la prévision de
l'impact de l'activité solaire
sur la Terre*

20110210_1158 AIA blos

Observatoires du futur (>2020)

Sol: Advanced Technology Solar Telescope (USA), European Solar Telescope

Espace: Solar Orbiter à 0.3 UA (ESA), Solar C à haute res. 1.50 m 0.1'' (JAXA), Solar Probe dans l'atm. Solaire (NASA)



European Solar
Telescope



Solar Orbiter (ESA)

