

Ces taches importunes qui viennent troubler le ciel

Deux histoires des taches solaires



Karl-Ludwig Klein
ludwig.klein@obspm.fr



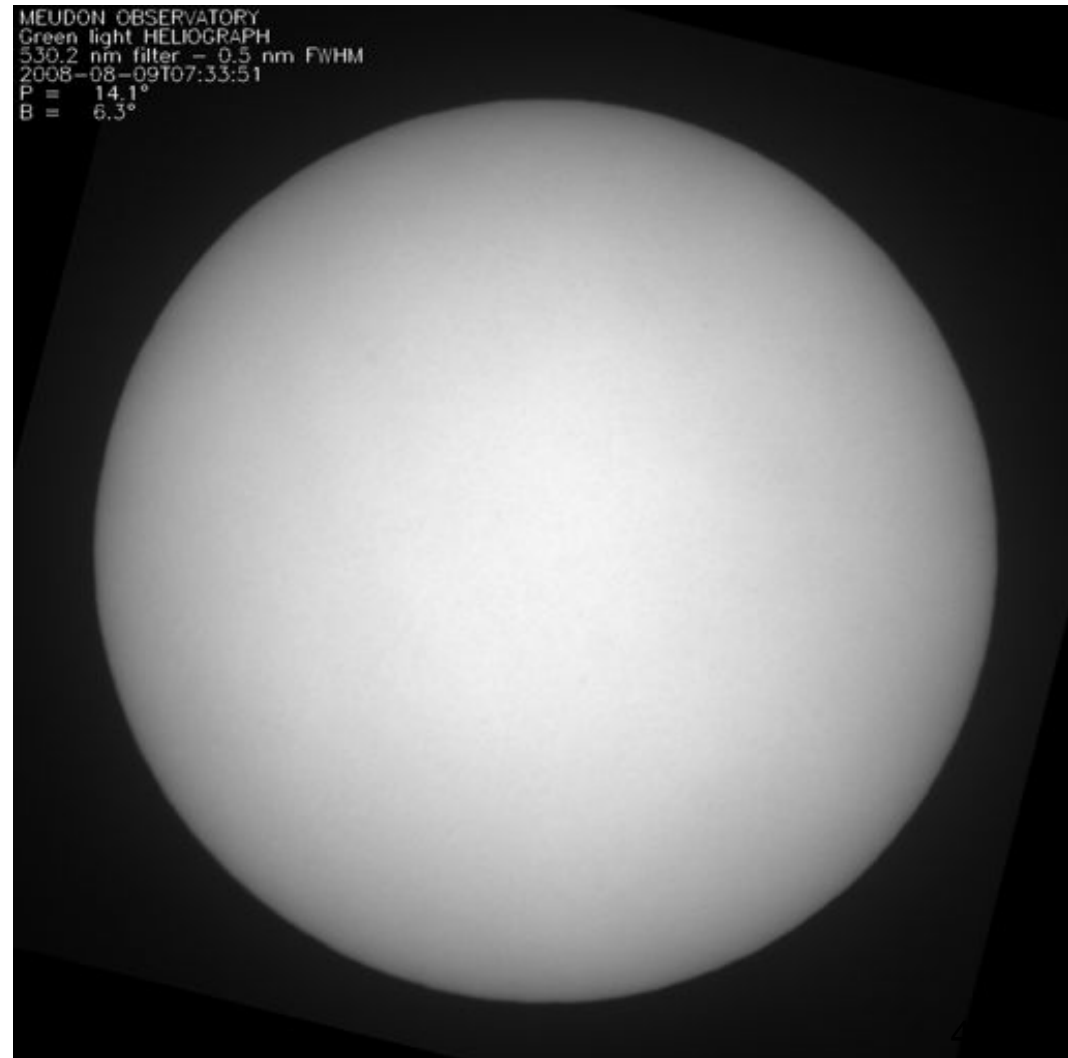
Ces taches importunes qui viennent troubler le ciel

- Deux histoires :
 - La compréhension actuelle des taches solaires, le vent solaire, les relations Soleil-Terre
 - La (re)découverte des taches solaires dans l'Europe de la Renaissance : évolution de notre vision de l'Univers

Le Soleil

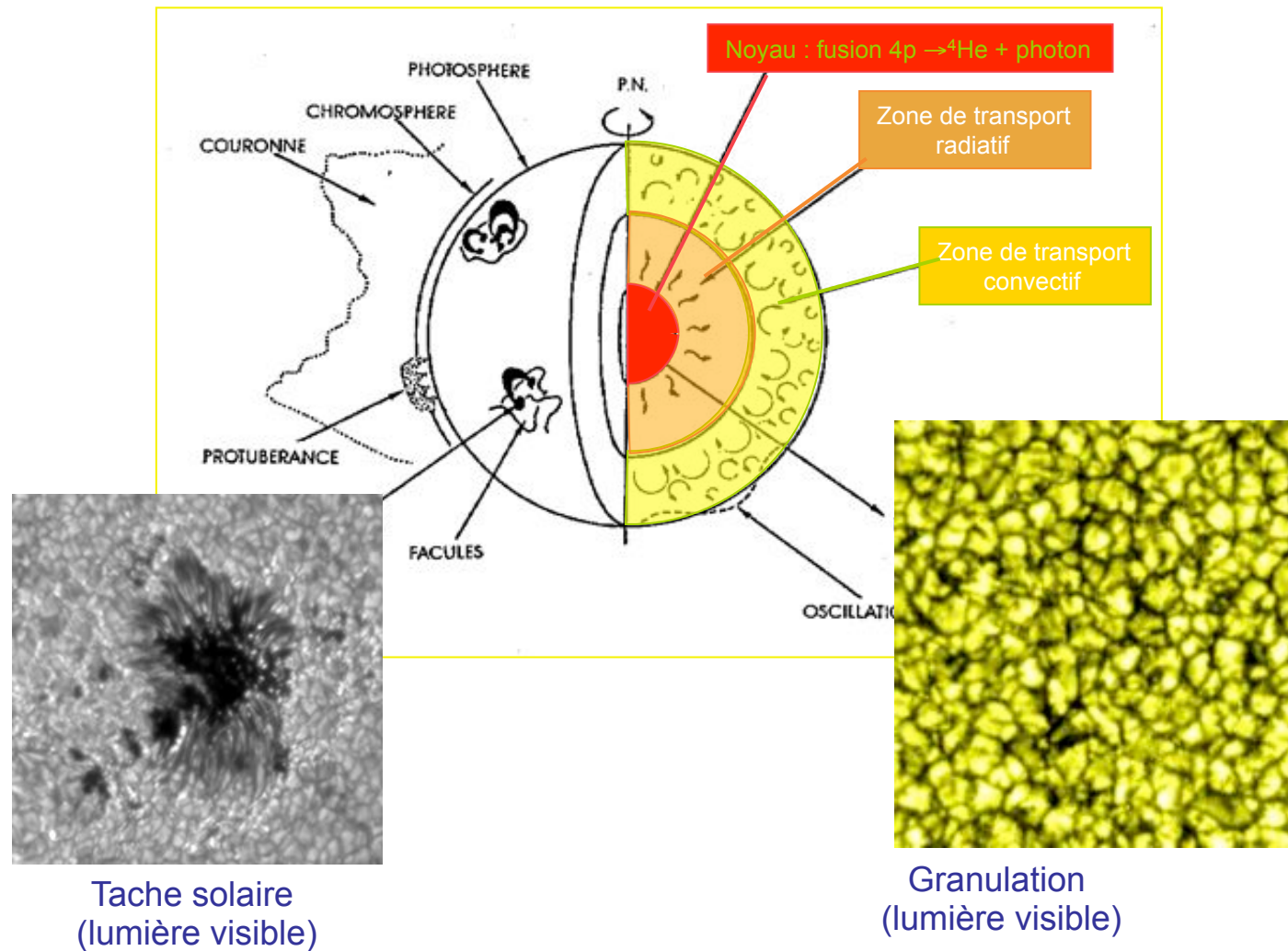
Observations contemporaines

- Une sphère de gaz
- Température à la « surface » environ 6000°C
- Corps en équilibre entre la pesanteur (concentration matière autour du centre) et la pression (dispersion de la matière dans l'espace)



Le Soleil

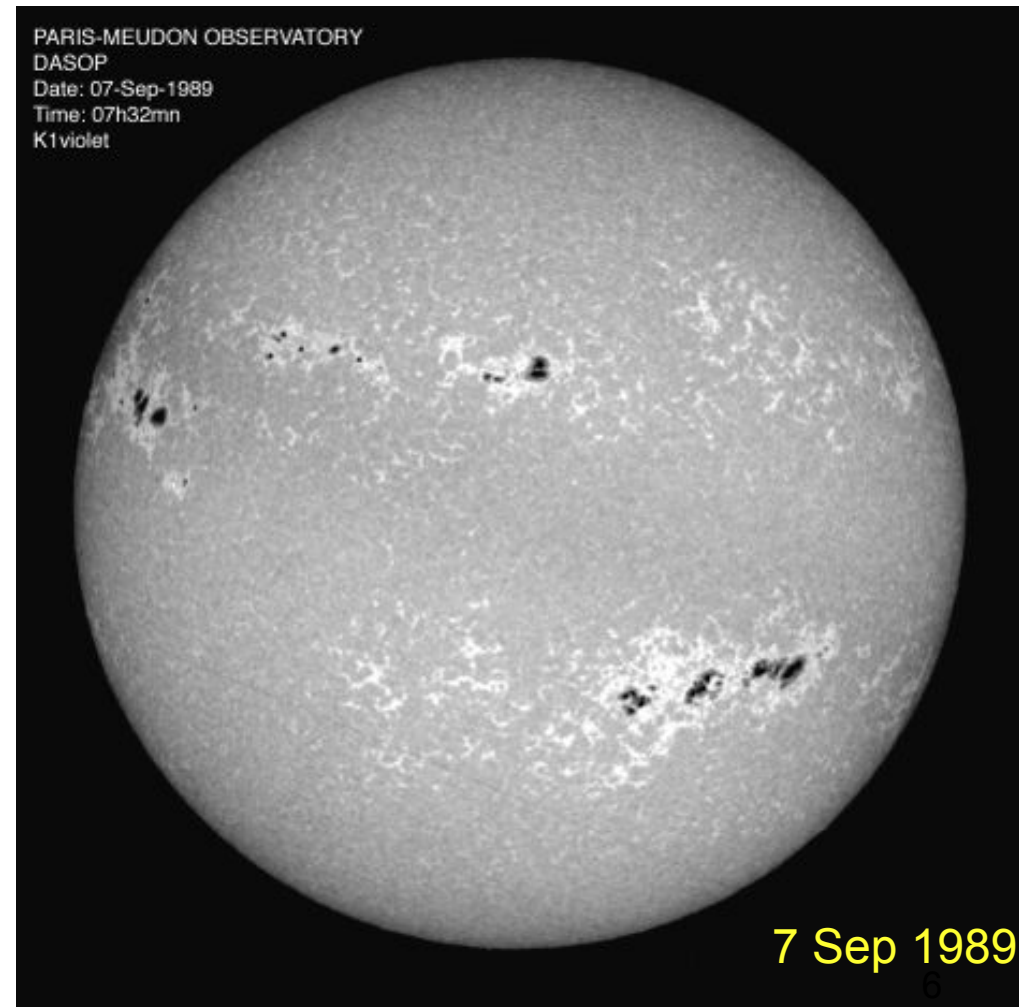
Intérieur & atmosphère



Le Soleil

Observations contemporaines

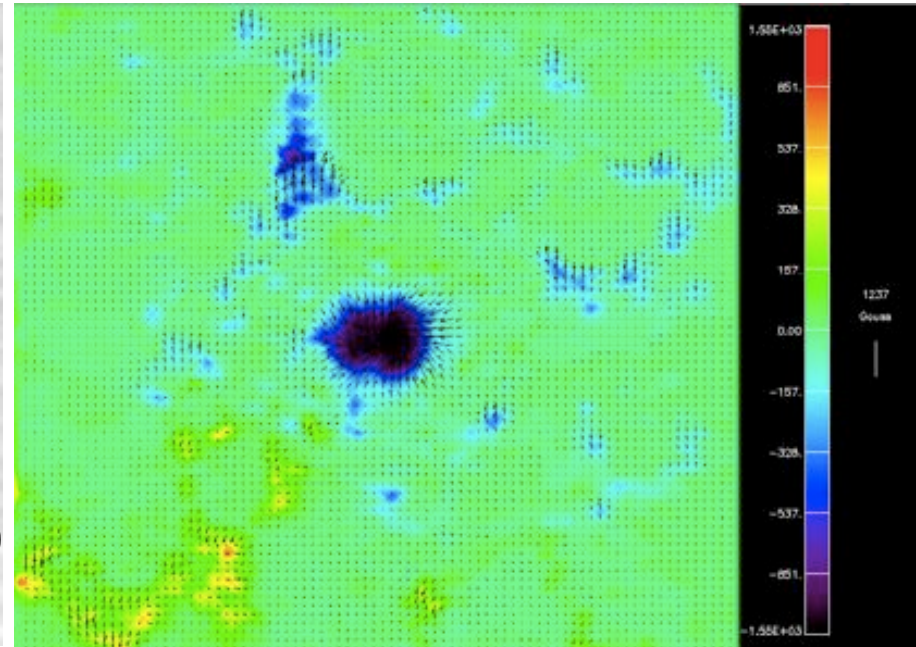
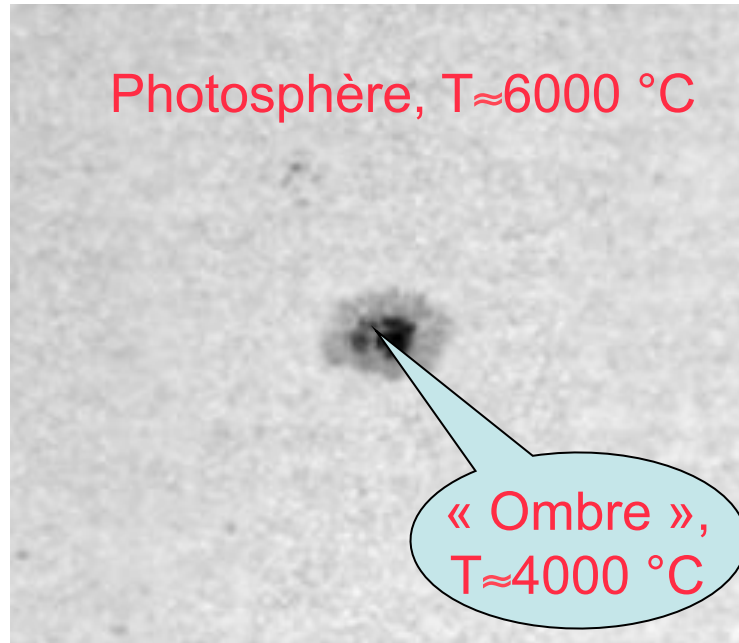
- Une sphère de gaz
- Structures à la « surface » du Soleil:
 - Taches - régions plus sombres
 - Facules - régions plus brillantes
- « Soleil actif »



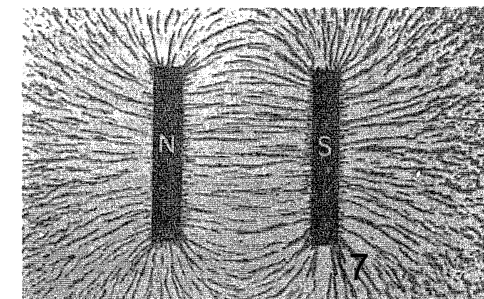
Le Soleil

Qu'est-ce qu'une tache solaire ?

Clichés THEMIS (Iles Canaries),
V. Bommier, Obs. Paris

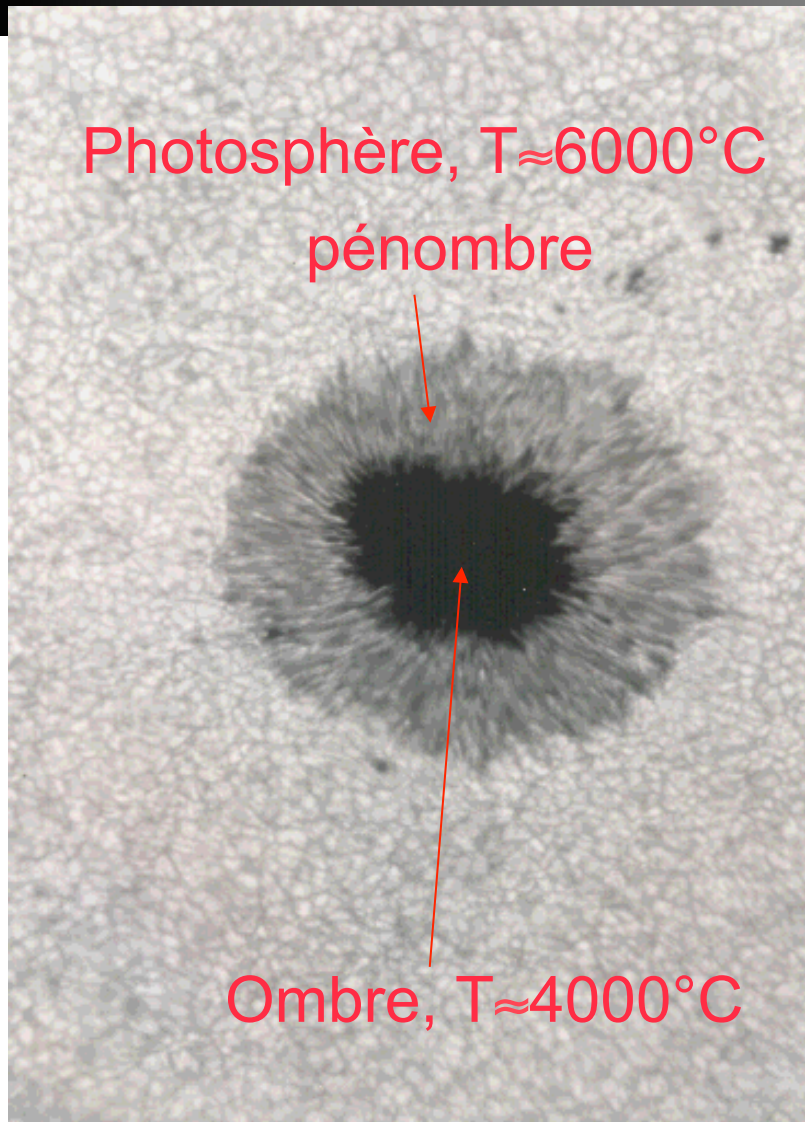


- Région à champ magnétique intense émergeant de l'intérieur du Soleil (Hale, 1908)
- Le champ magnétique se boucle dans les régions voisines de la tache. Ses lignes de champ s'étendent au-dessus de la « surface » solaire.

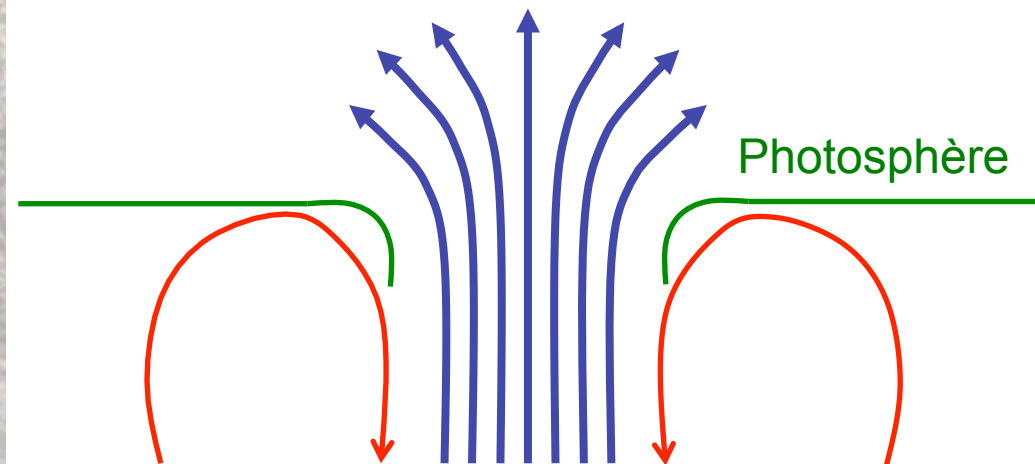


Le Soleil

Qu'est-ce qu'une tache solaire ?



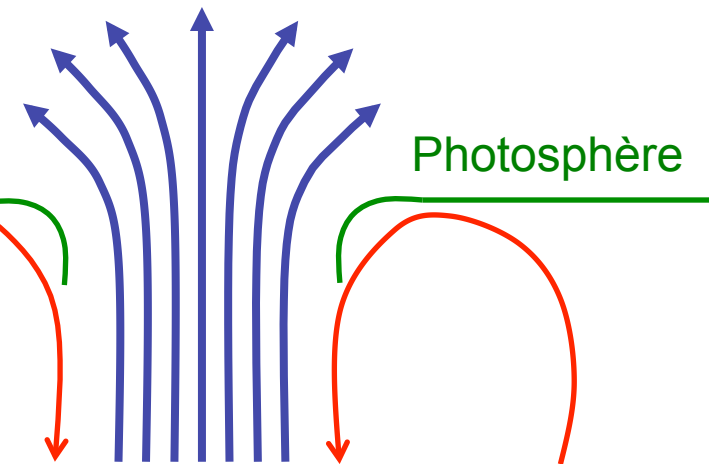
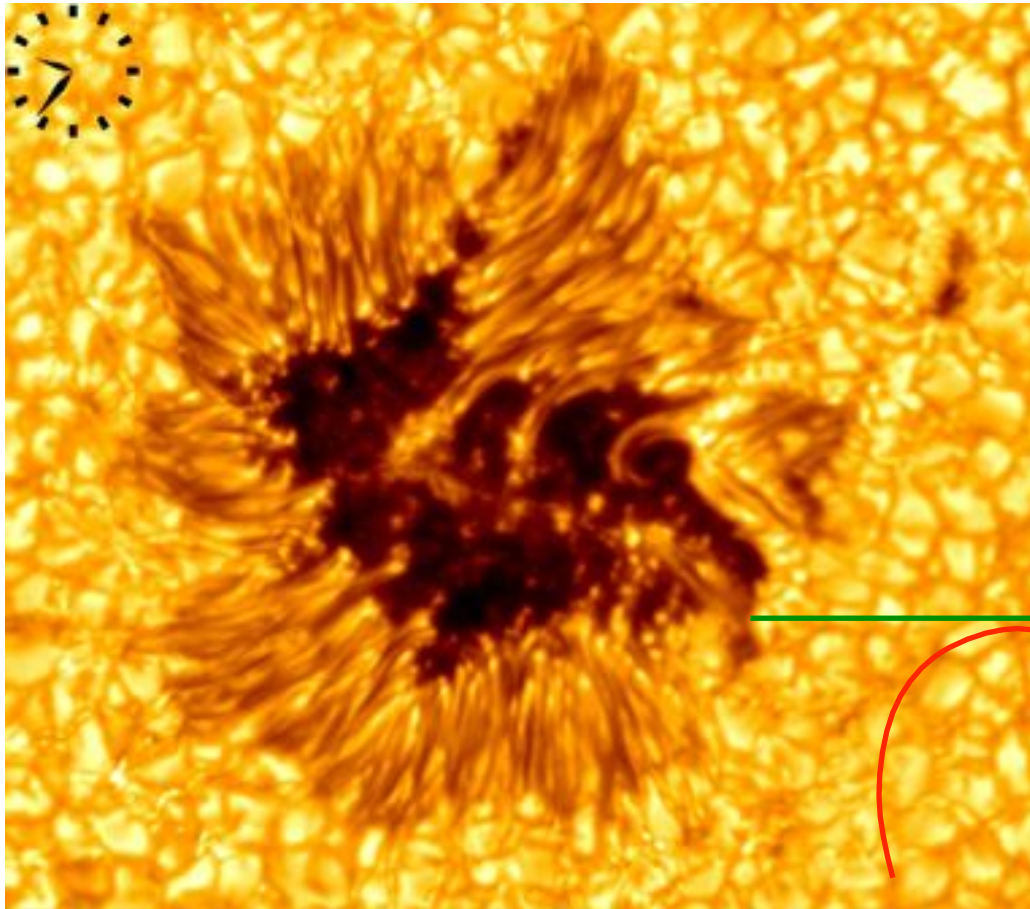
- Le champ magnétique est concentré en taches, pores ... par les mouvements de matière.
- Il y empêche la convection / le transport de chaleur de l'intérieur à la surface (plus froid \Rightarrow plus sombre)



Le Soleil

Qu'est-ce qu'une tache solaire ?

© Swedish Vacuum Telescope, La Palma (Tenerife)



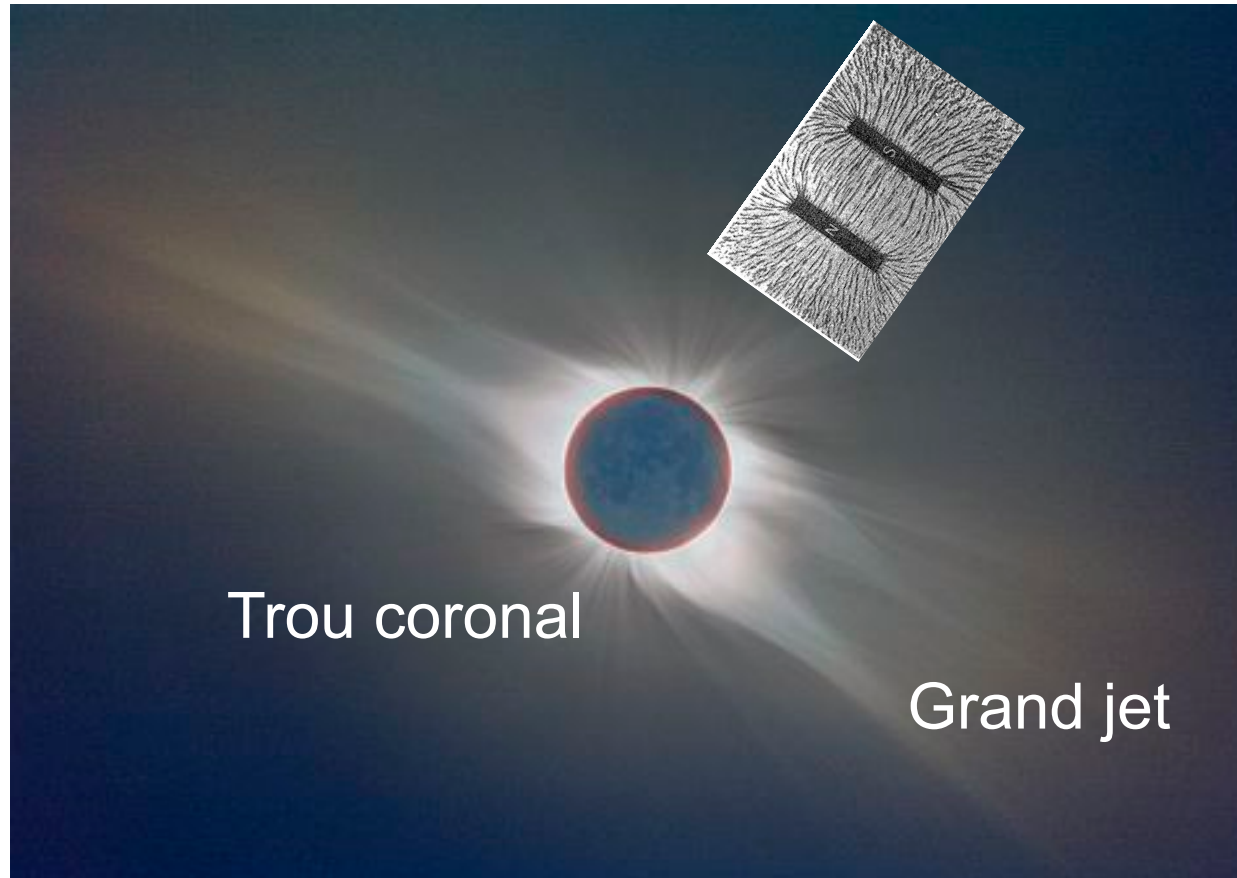
Plus d'information:

<http://lesia.obspm.fr/-Formation-et-structuration-des,69-.htm>

Le Soleil

Couronne et vent solaires

© C. Viladrich, IAP & SAF



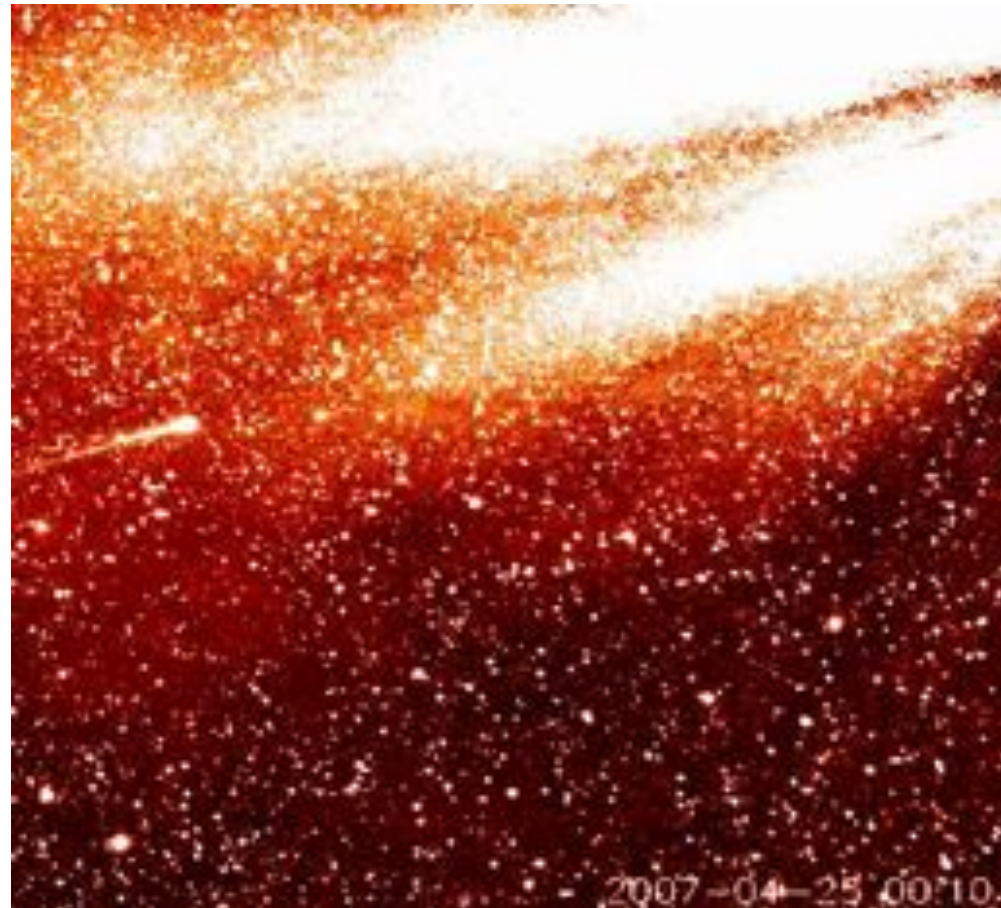
- Couronne:
 - gaz chaud,
 - fortement ionisé,
 - structuré à basse altitude ($< 1 R_s$ au-dessus de la surface) par le champ magnétique.

- Vent solaire: échappement du gaz chaud depuis la basse couronne le long des lignes de champs « ouvertes » et partout depuis la haute couronne

Le Soleil

Vent solaire

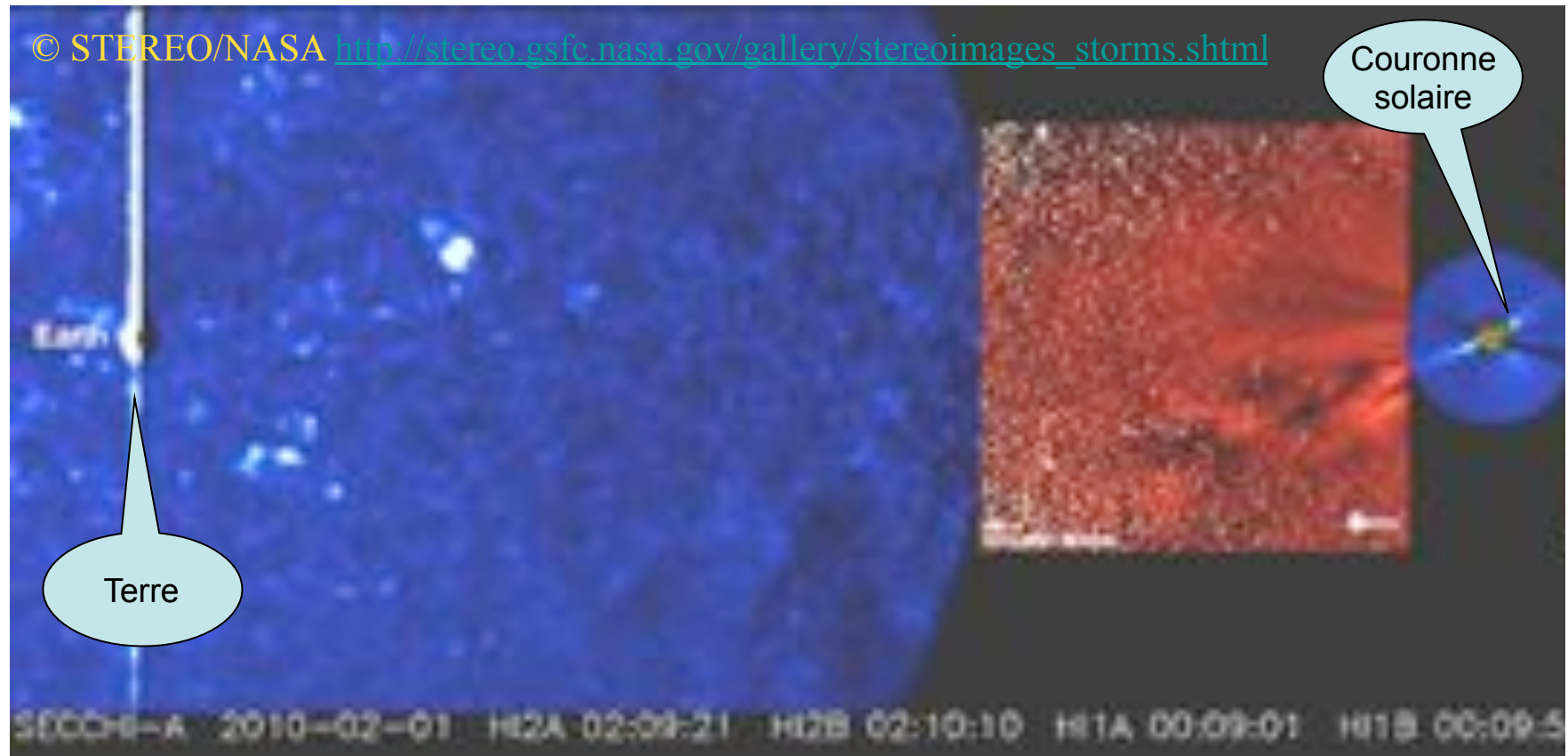
- Couronne chaude \Rightarrow expansion du gaz que la gravitation et le champ magnétique n'arrivent pas à retenir
- Visualisation du vent solaire: queue d'une comète « flottant » dans le vent solaire
- Soleil en haut à droite, les structures brillantes sont des parties de la couronne
- Observation sondes STEREO/NASA



<http://stereo.gsfc.nasa.gov/gallery/gallery.shtml>

Le Soleil

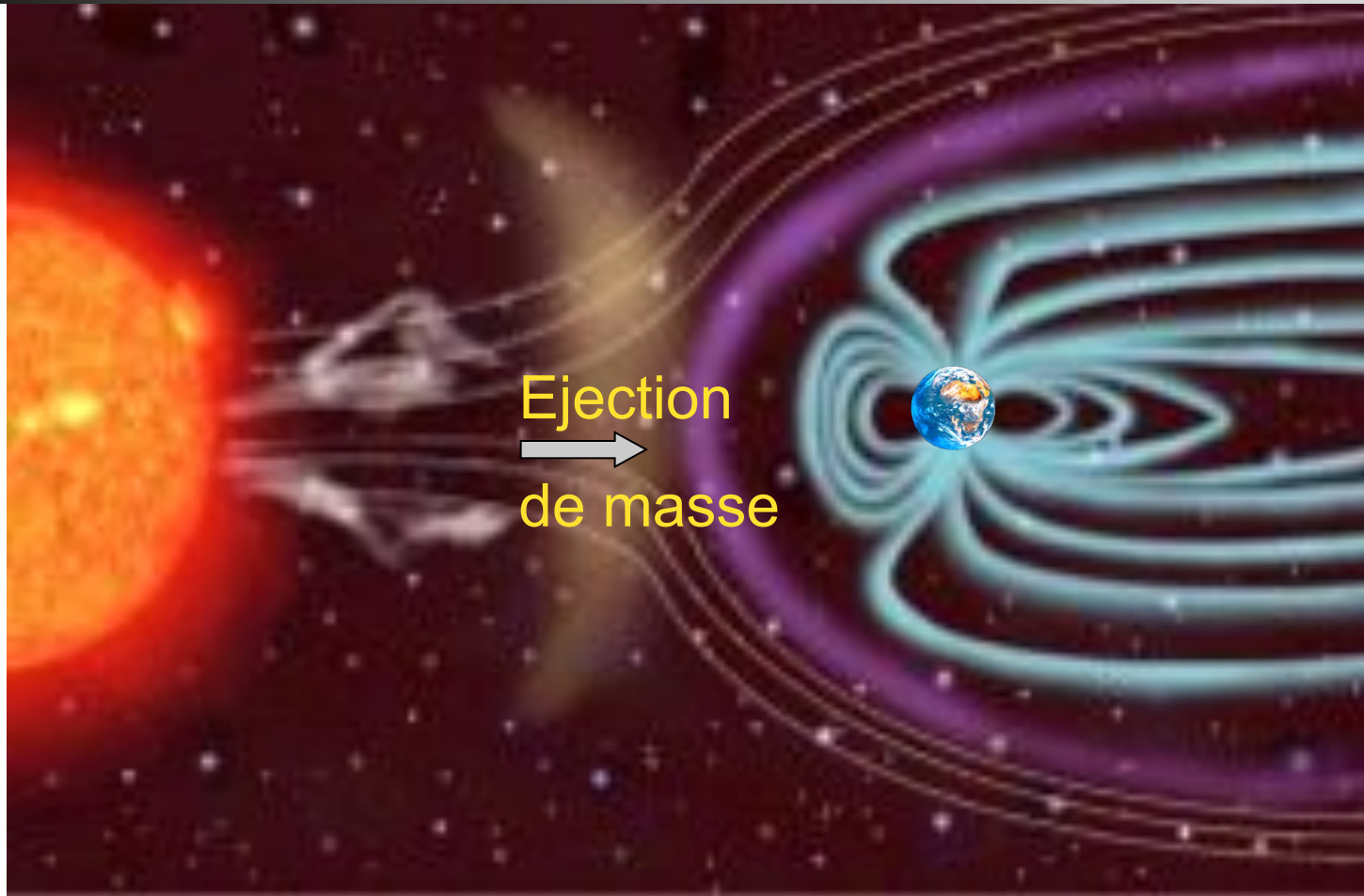
Une éjection de masse, suivie du Soleil à la Terre



- Suivi d'éjections coronales de masse du Soleil à la Terre (18 jours d'observation).
- Certaines perturbations peuvent atteindre la Terre:
 - le vent solaire en 4 jours
 - une éjection de masse en 1-2 jours

Le Soleil et l'Héliosphère

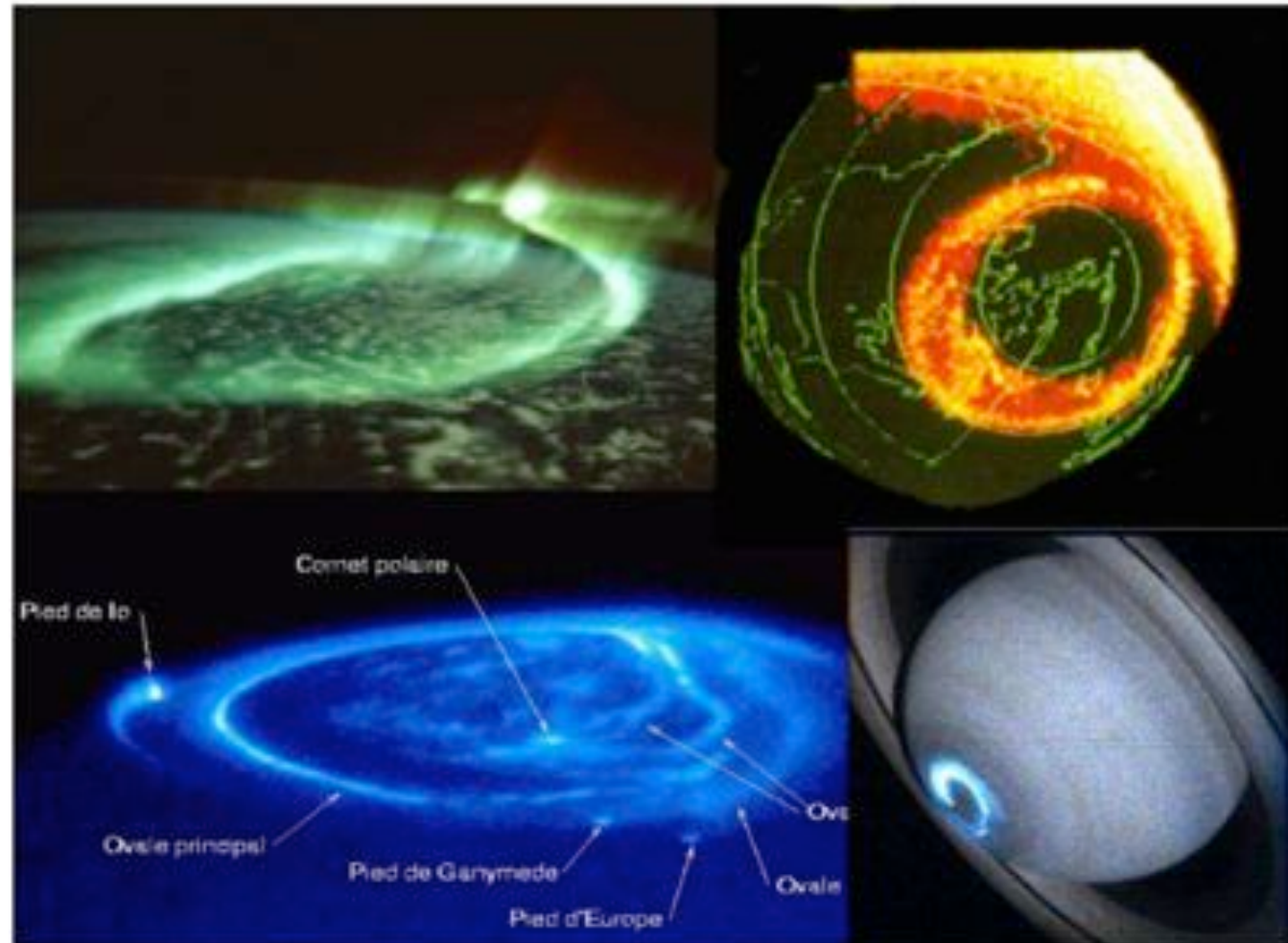
Vent solaire et champ magnétique de la Terre



- Le champ magnétique (Magnétosphère): interaction avec le champ magnétique d'une éjection de masse

Le Soleil et l'Héliosphère

Une manifestation planétaire du vent solaire: les aurores polaires



Plus d'info: <http://planeterrella.obs.ujf-grenoble.fr>
<https://www.obspm.fr/des-aurores-planetaires-visualisent-la-trace-d-un.html>

Ces taches importunes qui viennent troubler le ciel

- Deux histoires :
 - La compréhension actuelle des taches solaires, le vent solaire, les relations Soleil-Terre
 - La (re)découverte des taches solaires dans l'Europe de la Renaissance : évolution de notre vision de l'Univers

L'univers géocentrique de l'antiquité grecque

Le mouvement diurne des astres

- Une vue du ciel nocturne: mouvement apparent des astres
 - Certains décrivent des cercles au-dessus de l'horizon
 - D'autres émergent au-dessus de l'horizon à un certain instant (lever) et disparaissent au-dessous plus tard (coucher)
- Que font-ils entre le coucher et le lever ?
- Anaximandre (610-547 av JC): ils complètent le cercle *au-dessous* de l'horizon.
- Conséquence: la Terre doit flotter librement dans l'espace !!!

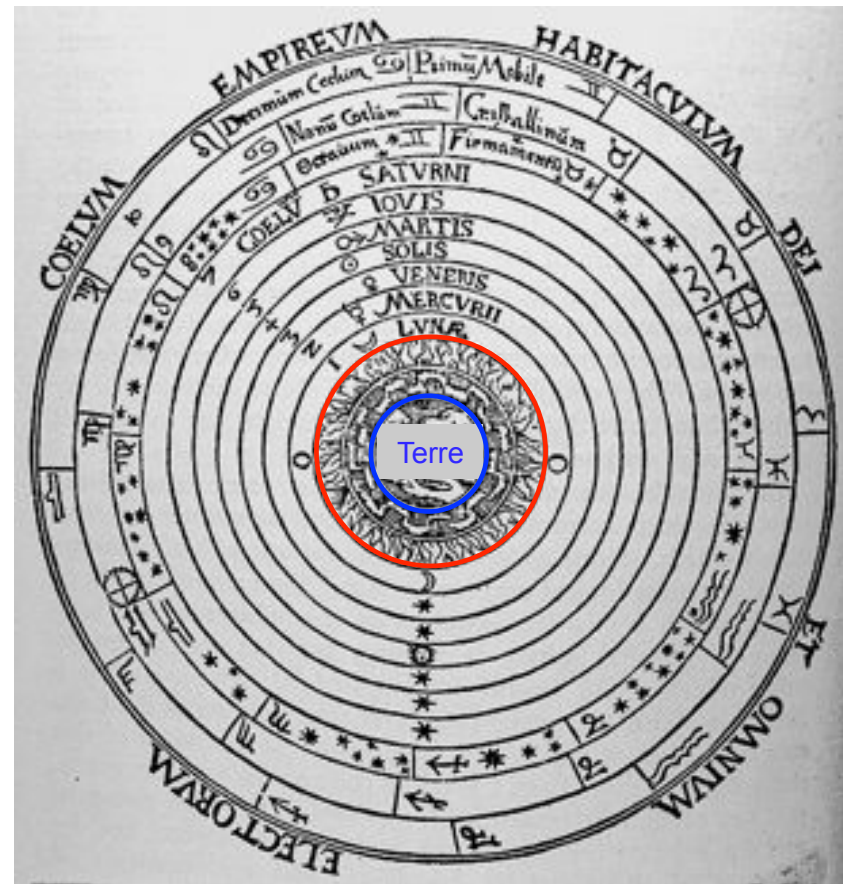


- Comment la Terre peut-elle flotter dans l'espace sans chuter « vers le bas » ?
- Réponse de l'antiquité grecque:
 - « bas » = centre du Monde
 - La Terre est au centre du Monde

L'univers géocentrique de l'antiquité grecque

Aristote (~384-322), Ptolémée (~90-165)...

- Pourquoi les astres ne chutent-ils pas vers le centre du monde ?
- Monde sub-lunaire (Terre) :
 - 4 éléments (terre, eau, air, feu)
 - pesanteur, car mouvements en ligne droite (chute, ascension) vers le / à partir du « centre du monde »
 - Changement, « imperfection » (génération, corruption)
- Monde supra-lunaire (ciel) :
 - éther
 - Orbites circulaires – toujours la même distance au centre du monde = absence de pesanteur (Aristote)
 - « perfection » (immuabilité, sphères, cercles)



L'alternative héliocentrique D'Aristarque à Copernic



Le système héliocentrique : version très simplifiée (Thomas Digges, 1576)

- Aristarque de Samos (320-250 av JC): le Soleil est au centre du Monde, la Terre tourne autour
- Reprise & développement de l'idée par Copernic (1543)
- Incohérence totale avec la physique traditionnelle:
 - Idée que tous les corps chutent vers le centre du monde - comment la Terre peut-elle être ailleurs sans y chuter (réponse: Newton, 1687) ?
 - Que devient la distinction sub-lunaire / supra-lunaire, corruptible/éternel ?

Astronomie & physique au début du 17^{ème} siècle

Une période charnière

- L'Univers de l'antiquité grecque:
 - Un système bien ordonné séparant les mondes sub - / supra-lunaire
 - Mouvements circulaires sans pesanteur des astres autour de la Terre
 - Immuabilité du monde supra-lunaire
- Observations astronomiques: complexification de l'image géocentrique d'Aristote: épicycles ... (« sauver les phénomènes »)
- Les astronomes et philosophes arabes montrent les contradictions.
- Les nouvelles données de la Renaissance :
 - Tycho Brahe (1572, 1577): mesure distances d'une comète et d'une « étoile nouvelle » (supernova), les trouve plus loin que la Lune - changements dans la sphère supra-lunaire?
 - David Fabricius (1596): variabilité de l'étoile Mira - les étoiles ne sont-elles donc pas immuables ?
 - lunette: montagnes de la Lune, satellites de Jupiter (Galilée, 1609), taches solaires: où est la différence sub-/supra-lunaire ?

Les taches solaires

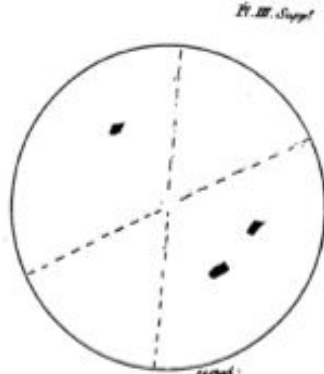
Découverte 1610-1612: l'Univers cesse d'être immuable



Les premières observations des taches solaires

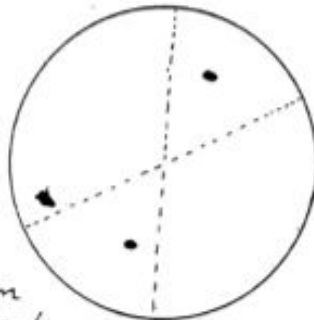
Thomas Harriot

1610. 17th Decem^r.
 Decem^r. 8th mane
 The altitude of the
 Sonne being 7 or 8
 degrees. It being
 a host C a mile. I saw
 the same in this manner.
 Instrument. $\frac{10}{1}$. B.
 I saw it twice or thrice. once
 with the right eye & other time
 with the left. In the space of a minute time, after the Sonne ^{was} to cleave.



1610. 17th Decem^r.
 January. 19. 5. a notable mist. I observed diligently at
 sundry times when it was fit. I saw nothing but the cleare
 Sonne both with right and left eyes

1611. Decem^r. 1. mane. So. so. o.
 for sunspot future.
 I saw three black spots in first
 order as it were expressed my view
 at 3 clock in the afternoon. observed
 5 or 6 times. with the eye
 the same. at sundry times all the
 forenoon for half an hour space.
 at sundry times and all the morning before
 it was misty.
 The greatest was both sides, ^{appearing somewhat angled,} most orientall
 & appeared ^{most} angle about 2'. the other
 two, were more or less biggest. of 1' magnitude.
 or less about

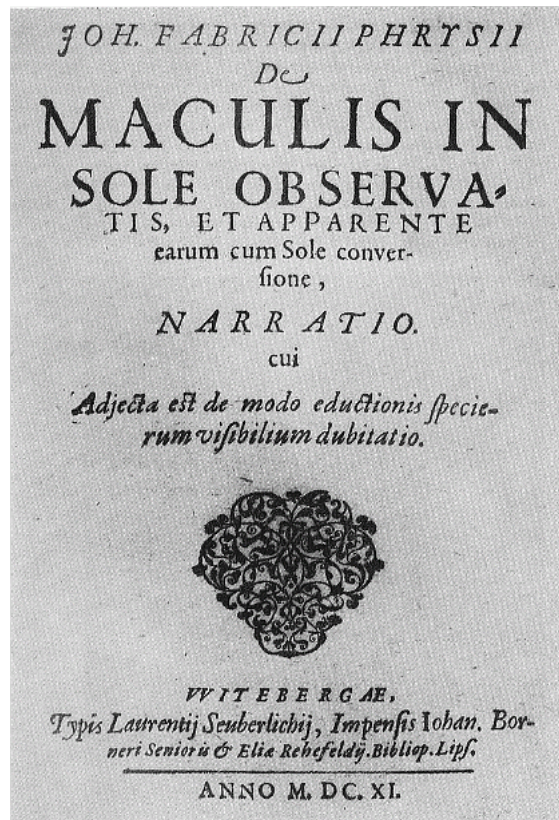


509

- Dessin et notes de Harriot :
18/12/1610 (haut), 1/12/1611
- Décembre 1610: Harriot dessine des taches, mais n'en parle pas - première mention dans ses notes de Déc. 2011 (passage de Vénus ?)

Les premières observations des taches solaires

Johannes Fabricius



« Après avoir ajusté le télescope, nous permîmes à la lumière du Soleil d'y entrer, partant d'abord du bord et approchant peu à peu le centre [du disque solaire], jusqu'à ce que nos yeux s'habituent à la force des rayons et que nous puissions observer le corps entier du Soleil. Nous y vîmes alors plus distinctement, et avec plus de certitude, les choses que j'ai décrites [les taches]. Entre temps des nuages étaient apparus, et la course du soleil vers midi détruisit nos espoirs d'observations prolongées; il était effectivement à craindre qu'un examen indiscret même d'un Soleil plus bas au-dessus de l'horizon ne crée des lésions des yeux, car même les rayons plus faibles du Soleil couchant ou levant enflamment souvent les yeux d'une étrange rougeur qui peut persister pendant deux jours, non sans affecter la perception des objets. »

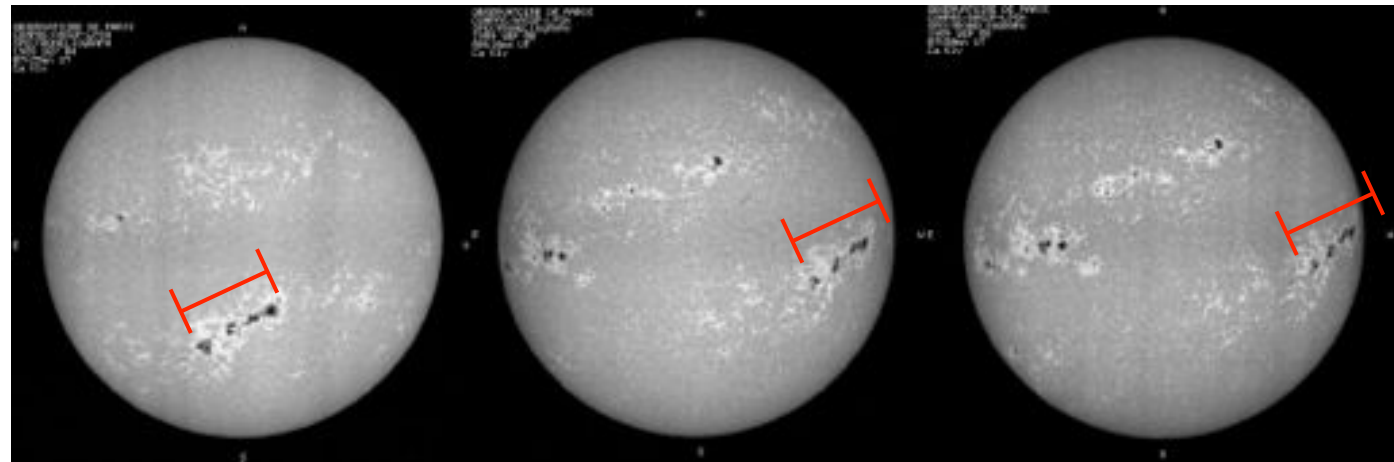
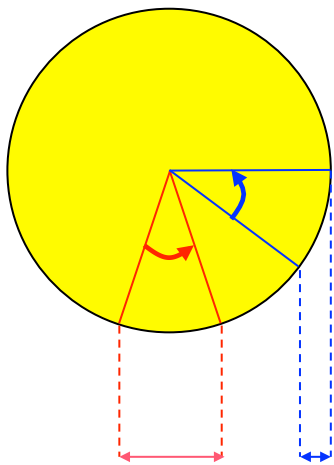
D'après la version anglaise dans Mitchell

The History of the discovery of solar spots (1916)

Les premières observations des taches solaires

Johannes Fabricius

- Découverte des taches
 - Aperçu, puis doutes sur leur réalité
 - Observations communes avec son père
 - Observations avec différentes lunettes
 - Discussion de l'hypothèse d'un défaut optique
 - Conclusion que les taches sont réelles

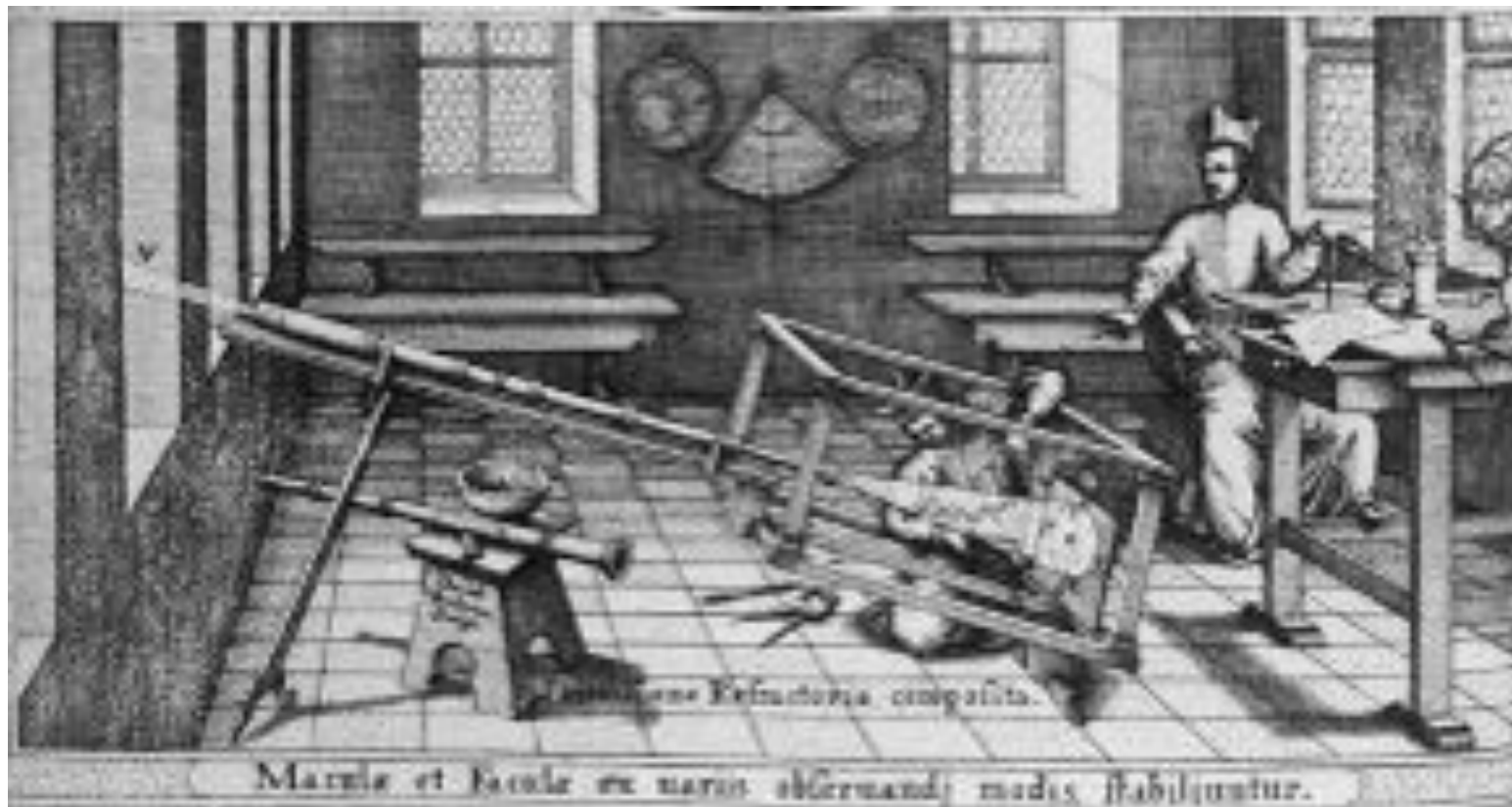


<http://bass2000.obspm.fr>

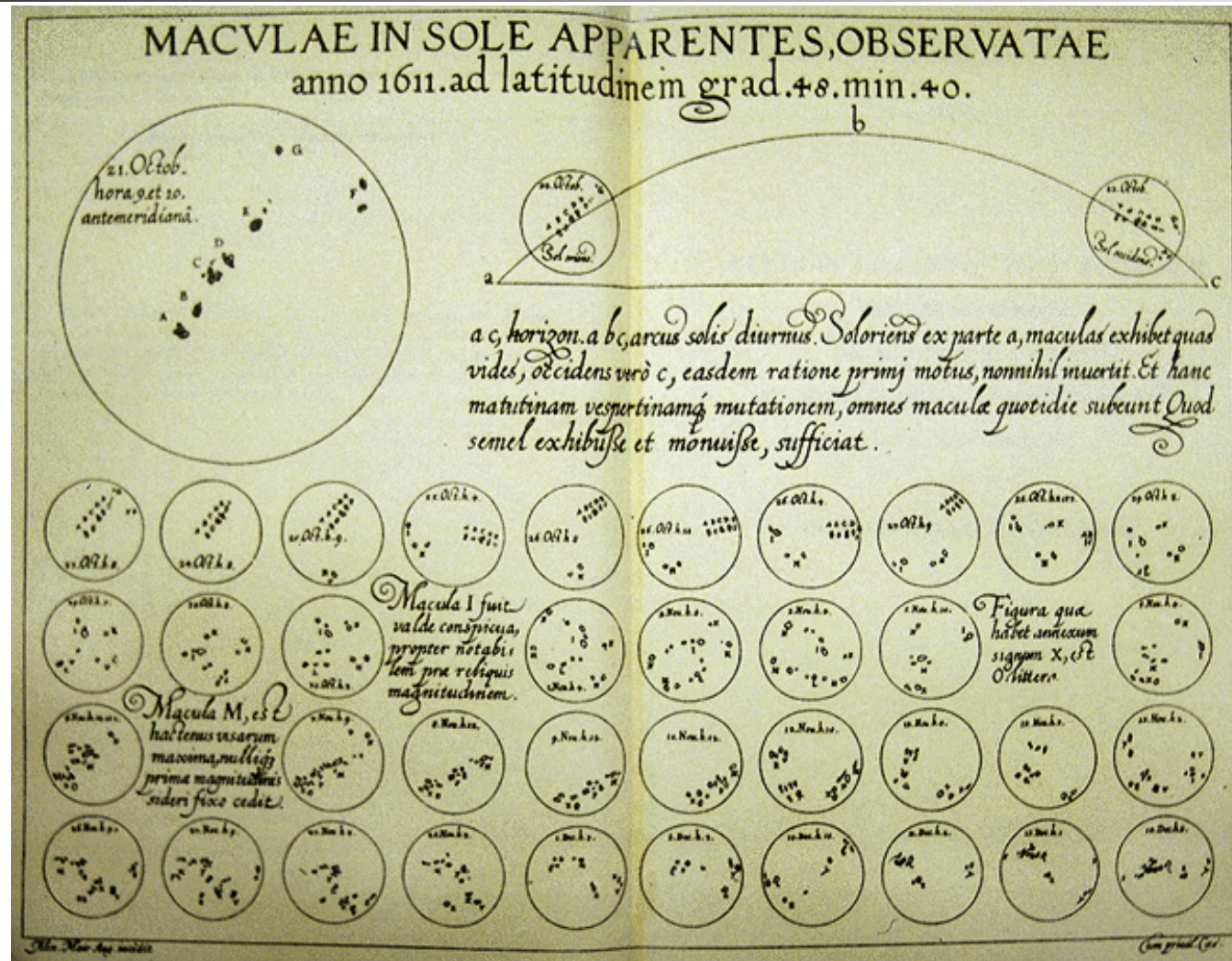
- Démonstration que les taches font partie du Soleil
 - Raccourci, par la perspective, des distances entre les taches lorsqu'elles s'approchent du bord du disque solaire => rotation du Soleil

Les premières observations des taches solaires

Christoph Scheiner



Les premières observations des taches solaires Christoph Scheiner



C. Scheiner : *Tres epistolae de maculis solaribus*, 12/11/1611 (Reeves & Van Helden, *Galileo Galilei and Christoph Scheiner On Sunspots*, Univ. Chicago Press 2010)

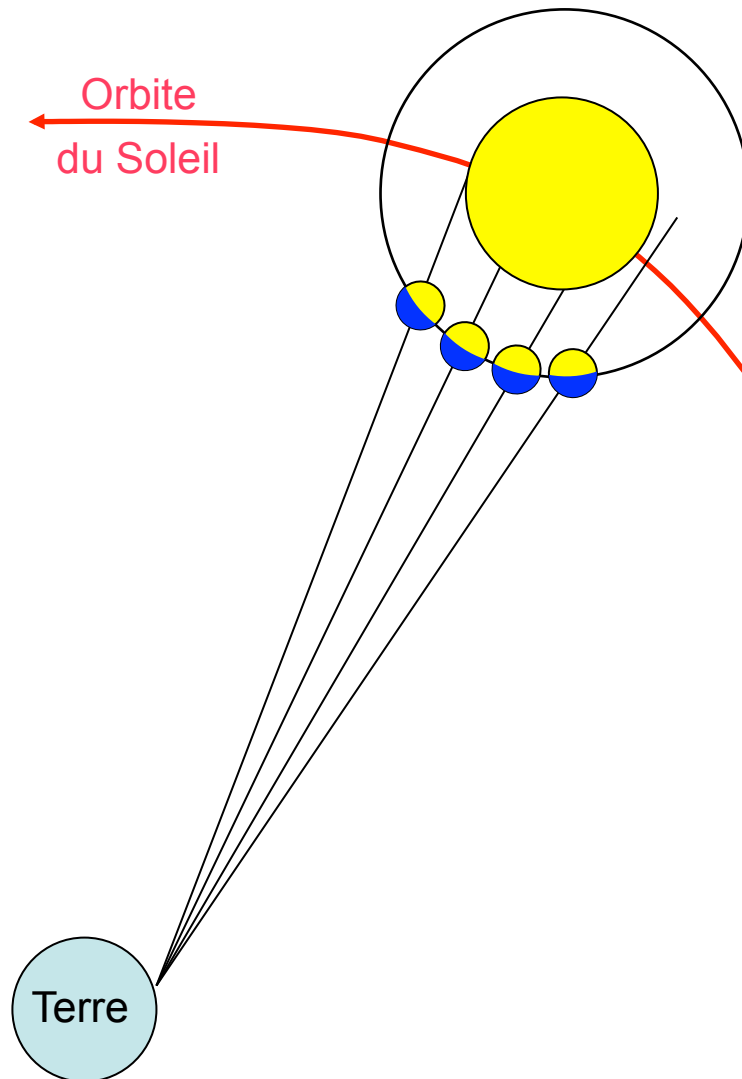
La nature des taches solaires

Christoph Scheiner

- Observation, dessin des taches, discussion des observations: les taches sont un effet réel
- Les taches ne peuvent se situer dans l'air
- *« Elles doivent donc se situer soit dans le Soleil, soit dans les cieux en dehors de celui-ci. Il m'a toujours paru déplacé et en fait improbable que des taches puissent apparaître sur ce corps extrêmement brillant du Soleil... D'ailleurs, le Soleil, si ces taches se situaient effectivement sur sa surface, devrait effectuer une rotation autour de son axe, et faire bouger les taches de telle façon que celles vues les premières devraient finalement réapparaître au même endroit et dans la même configuration. Jusqu'à maintenant elles ne l'ont pas fait. »*
- Détermination de la durée du passage devant le disque : environ 15 jours. Ne sont pas ré-apparues après: *« Ces taches ne peuvent donc en aucun cas se situer au Soleil ... La seule explication qui nous reste est que ces ombres orbitent dans le ciel du Soleil. »*

La nature des taches solaires

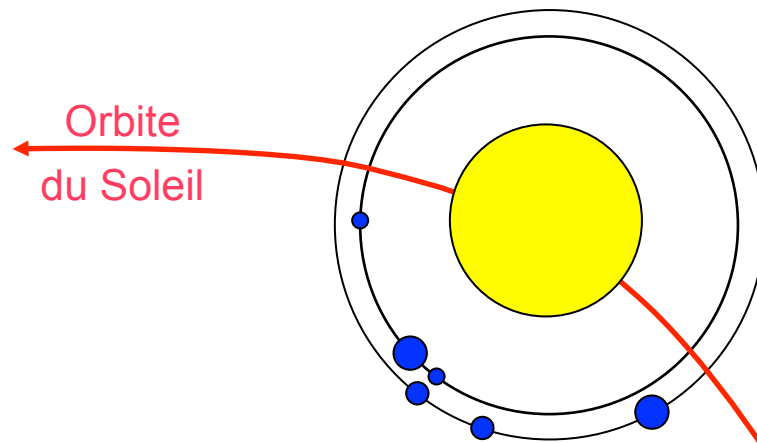
Christoph Scheiner



- Corps opaques en orbites autour du Soleil
- Explication, par des effets de perspective, du raccourci des distances entre taches près du bord et du rétrécissement des taches au bord - ne marche que si les orbites sont très près de la surface du Soleil.
- Remarque: Scheiner abandonne la vue purement géocentrique du monde, admettant des corps en orbite autour du Soleil. Référence aux satellites de Jupiter découverts par Galilée.

La nature des taches solaires

Christoph Scheiner

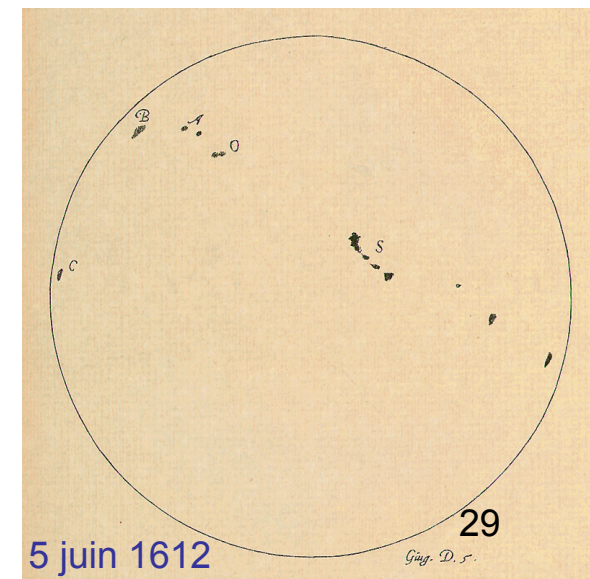
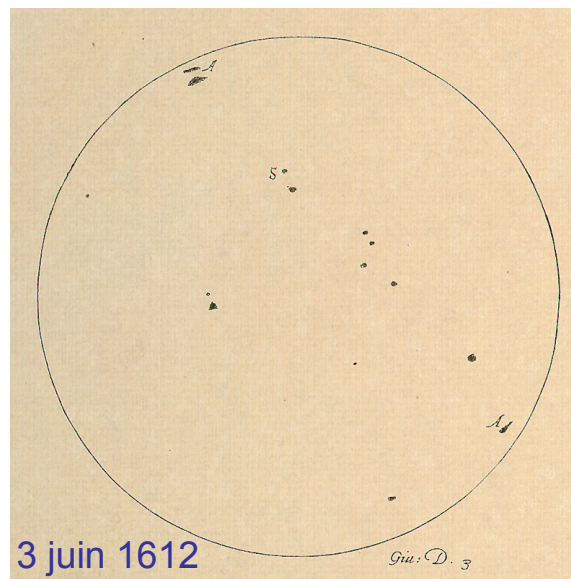
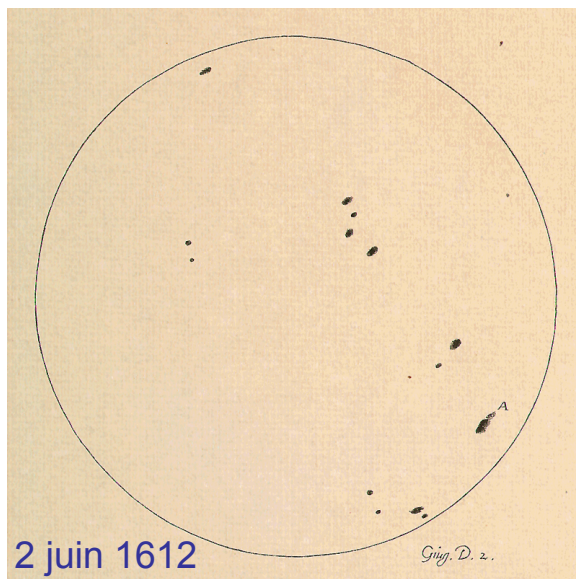


- Corps opaques en orbites autour du Soleil
- Explication, par des effets de perspective, du raccourci des distances entre taches près du bord et du rétrécissement des taches au bord - ne marche que si les orbites sont très près de la surface du Soleil.
- Remarque: Scheiner abandonne la vue purement géocentrique du monde, admettant des corps en orbite autour du Soleil. Référence aux satellites de Jupiter découverts par Galilée.
- Forme irrégulière des groupes de taches: superposition, sur la ligne de visée, de nombreux corps opaques.

Les premières observations des taches solaires

Galilée

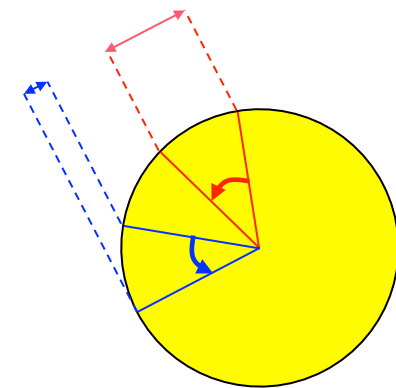
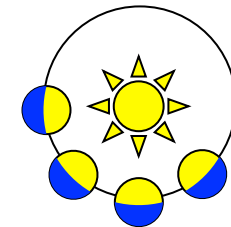
- Galilée, traité sur les corps flottants, entre Sep 1611 & printemps 1612: « *J'ajoute l'observation de quelques taches sombres découvertes dans le corps du Soleil ...* »
- Explication: soit le Soleil effectue une rotation sur lui-même, soit « *d'autres étoiles effectuent, tels Mercure et Vénus, des orbites autour du Soleil, étant tantôt invisibles à cause de leur petite distance au Soleil, inférieure à celle de Mercure, et ne deviennent visibles qu'elles s'interposent entre le Soleil et nos yeux* » (hypothèse des ombres exclue dans une lettre suivante). Premières observations systématiques de Galilée connues aujourd'hui : mai 1612.



La nature des taches solaires

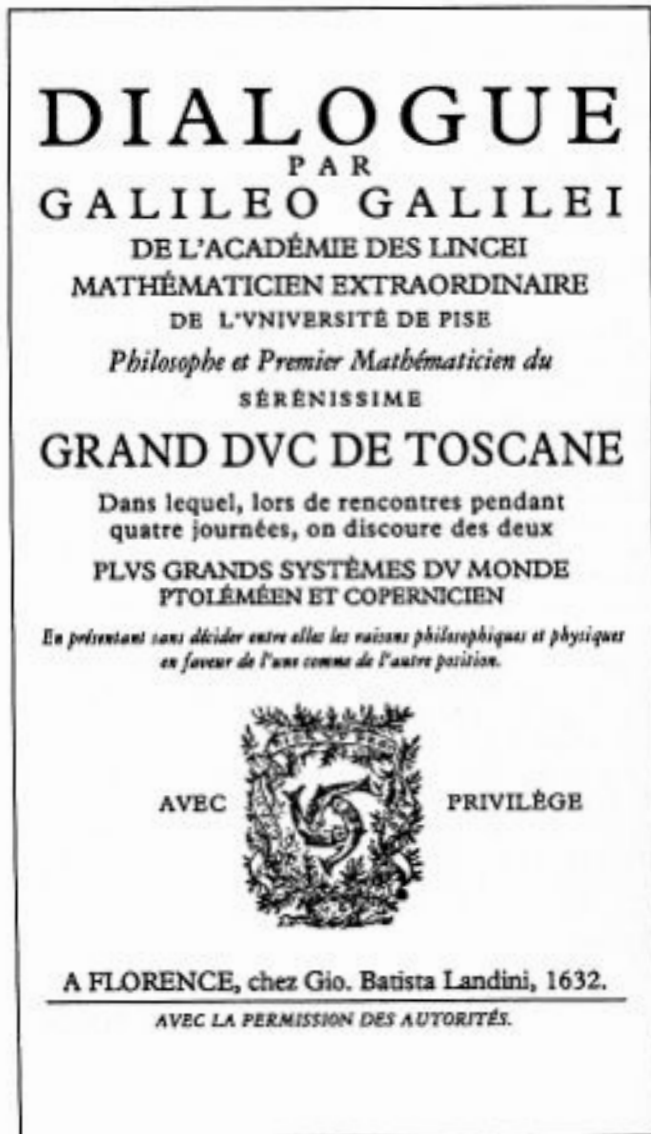
Galilée

- Les arguments ultérieurs de Galilée sur la nature des taches et leur appartenance au Soleil (la première argumentation détaillée est une réponse (1612) aux *Tres epistolae* de Scheiner):
 - La diminution des taches au bord n'a pas lieu comme le décrit Scheiner : Ce n'est pas la partie dirigée vers le centre du disque qui se retrécit, mais la partie près du bord.
 - La structure des taches change sur le disque solaire, non seulement au bord (les taches varient donc elles-mêmes au cours du temps).
 - Le ralentissement du mouvement des taches au bord favorise la localisation à la surface du Soleil, non pas un corps en orbite autour du Soleil.



La nature des taches solaires

Galilée: *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*



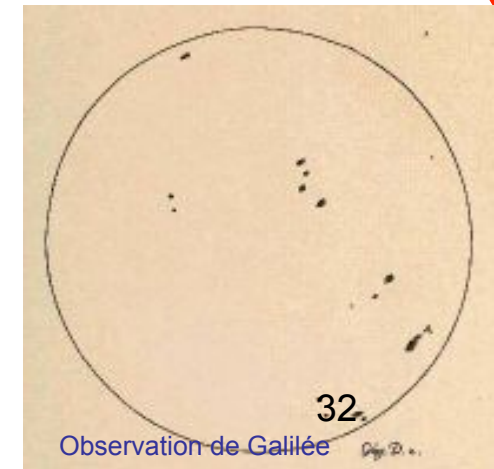
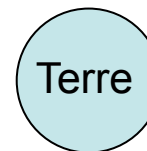
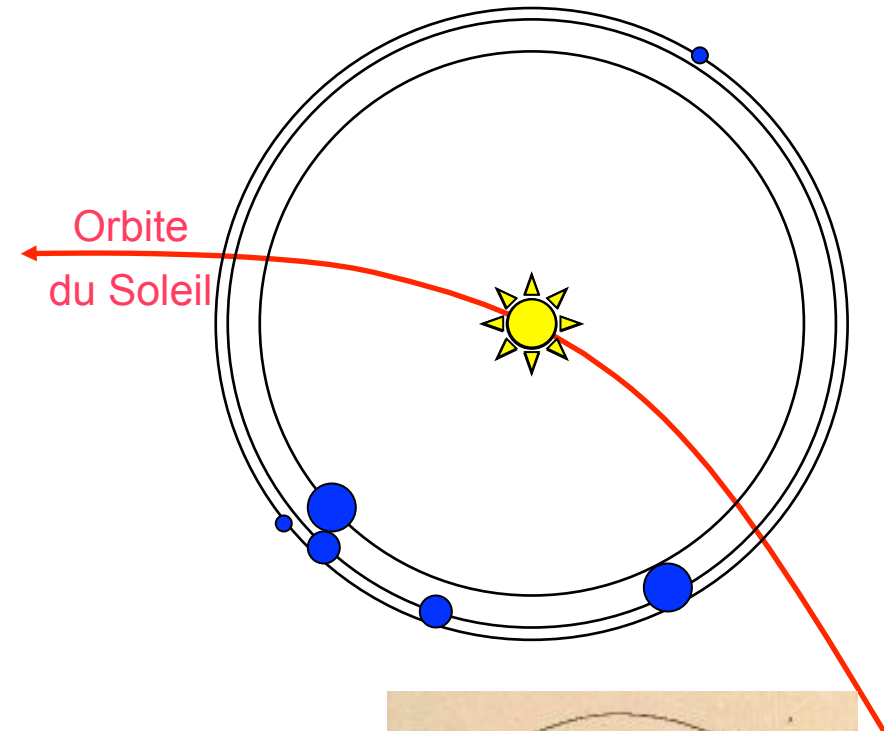
- Discussion « objective » des systèmes géocentrique (Aristote, Ptolémée) et héliocentrique (Copernic) - physique et astronomie – publication 1632
- Les protagonistes :
 - Salviati (parti Galilée)
 - Sagredo (bourgeois éclairé partisan de Galilée)
 - Simplicio (moine, défenseur de la théorie d'Aristote et de l'Eglise)

La nature des taches solaires

Dialogue sur les deux grands systèmes du monde: Simplicio

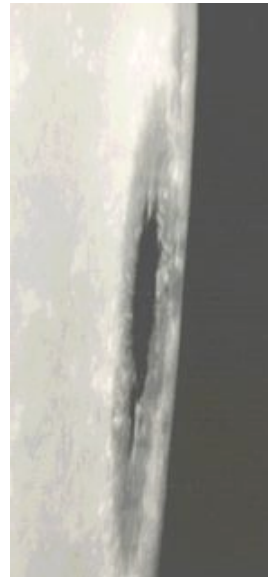
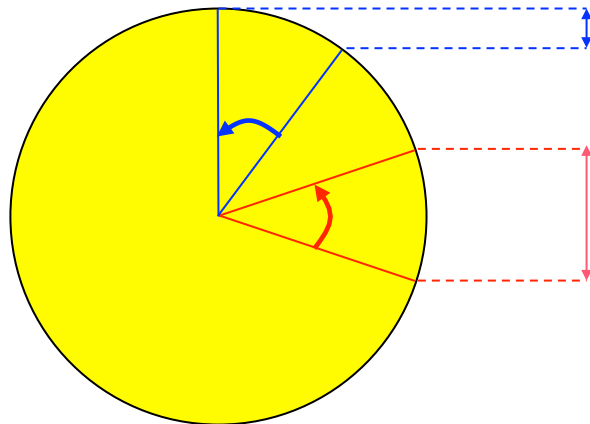
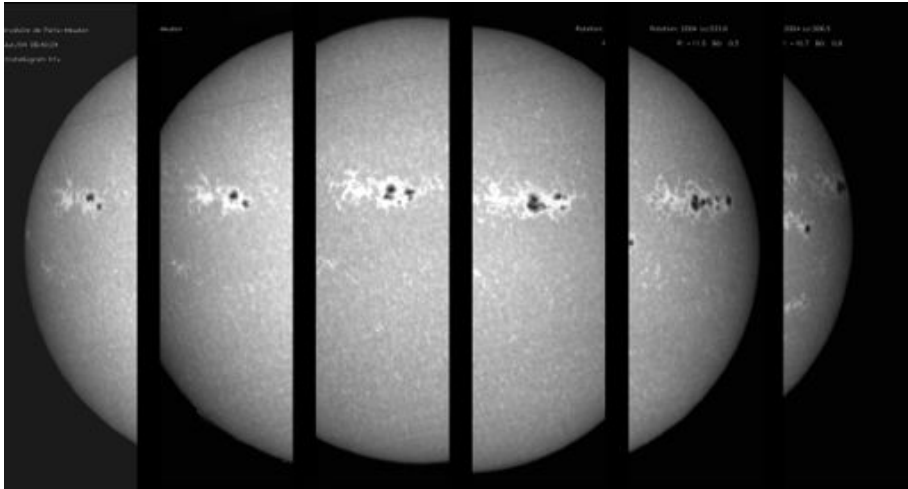
- « Etoiles » (comme Mercure, Vénus) tournant autour du Soleil.
- Phénomènes dans l'air ou dans les lentilles de la lunette.
- Corps opaques de formes irrégulières tournant autour du Soleil, s'agrégeant / désagrégeant au hasard. Retour des mêmes taches.

⇒ Changement visuel sans génération ou corruption



La nature des taches solaires

Dialogue sur les deux grands systèmes du monde: Salviati



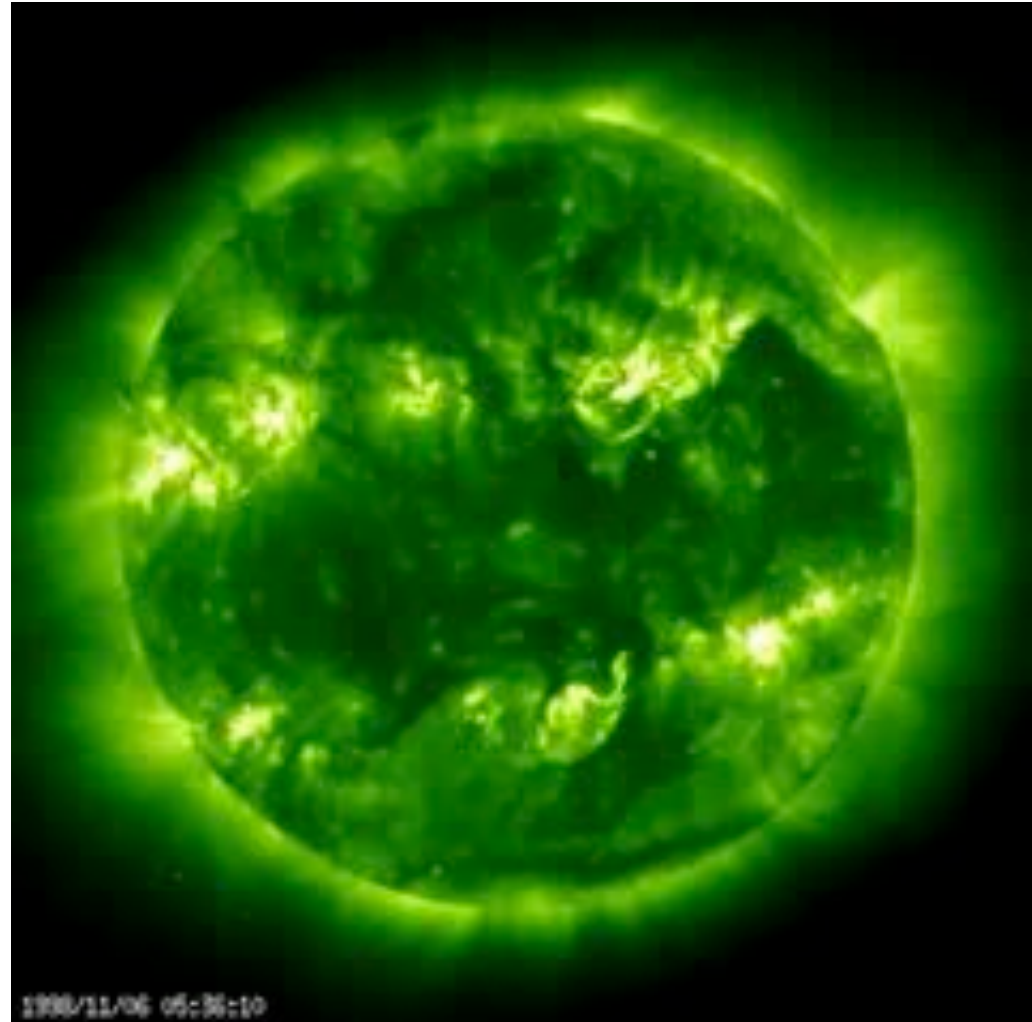
- Les taches peuvent se former et se désagréger au milieu du disque solaire.
- Les taches font partie de la surface du Soleil :
 - déplacement plus lent près du bord qu'au centre du disque solaire;
 - taches plus étroites près du bord qu'au centre du disque.

⇒ Génération et corruption au Soleil, non seulement changement visuel.

Les taches et la variabilité solaires

Une recherche qui se poursuit

- Taches solaires (lumière visible) et régions actives (UV extrême) par le satellite SoHO (ESA/NASA)

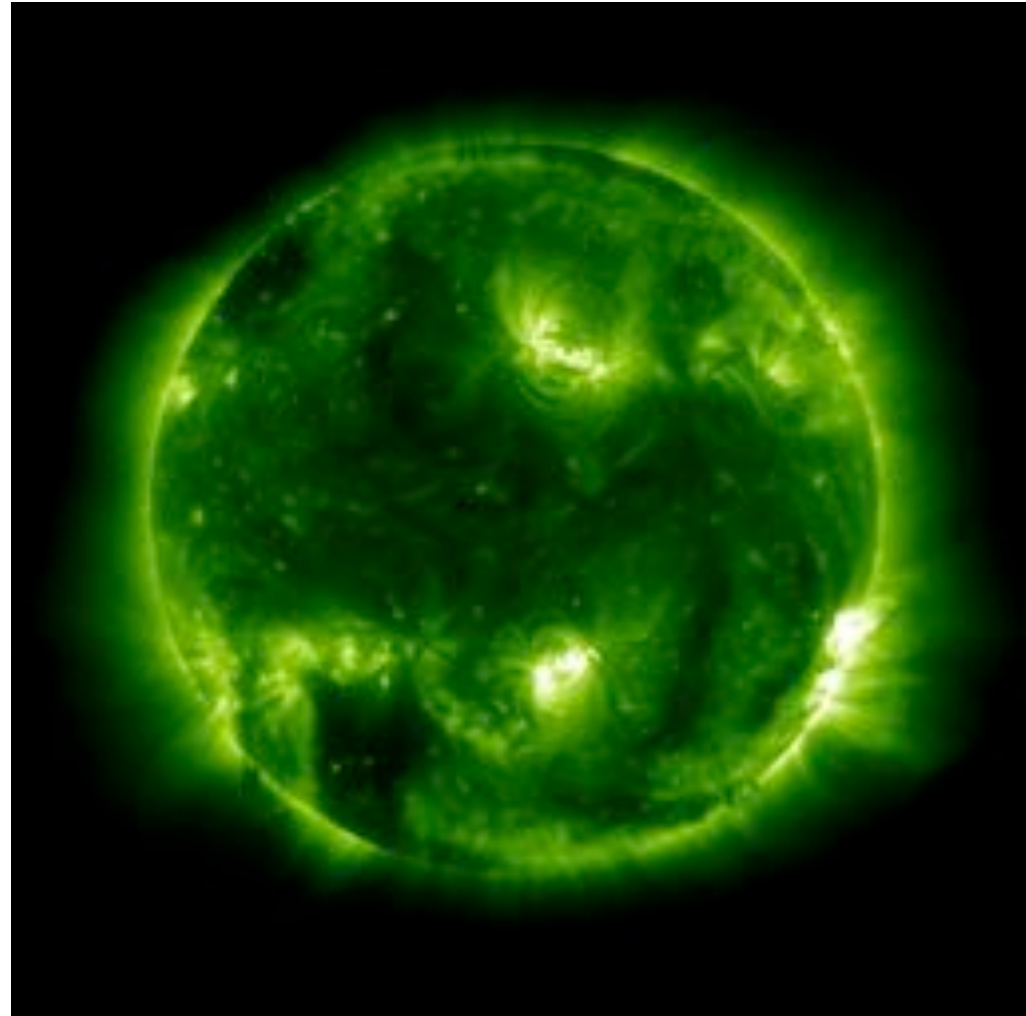


<http://soho.esac.esa.int/gallery/Movies/sunspots.html>

Les taches et la variabilité solaires

Une recherche qui se poursuit

- Régions actives (UV extrême) par le satellite SoHO (ESA/NASA)



© SoHO ESA/NASA