

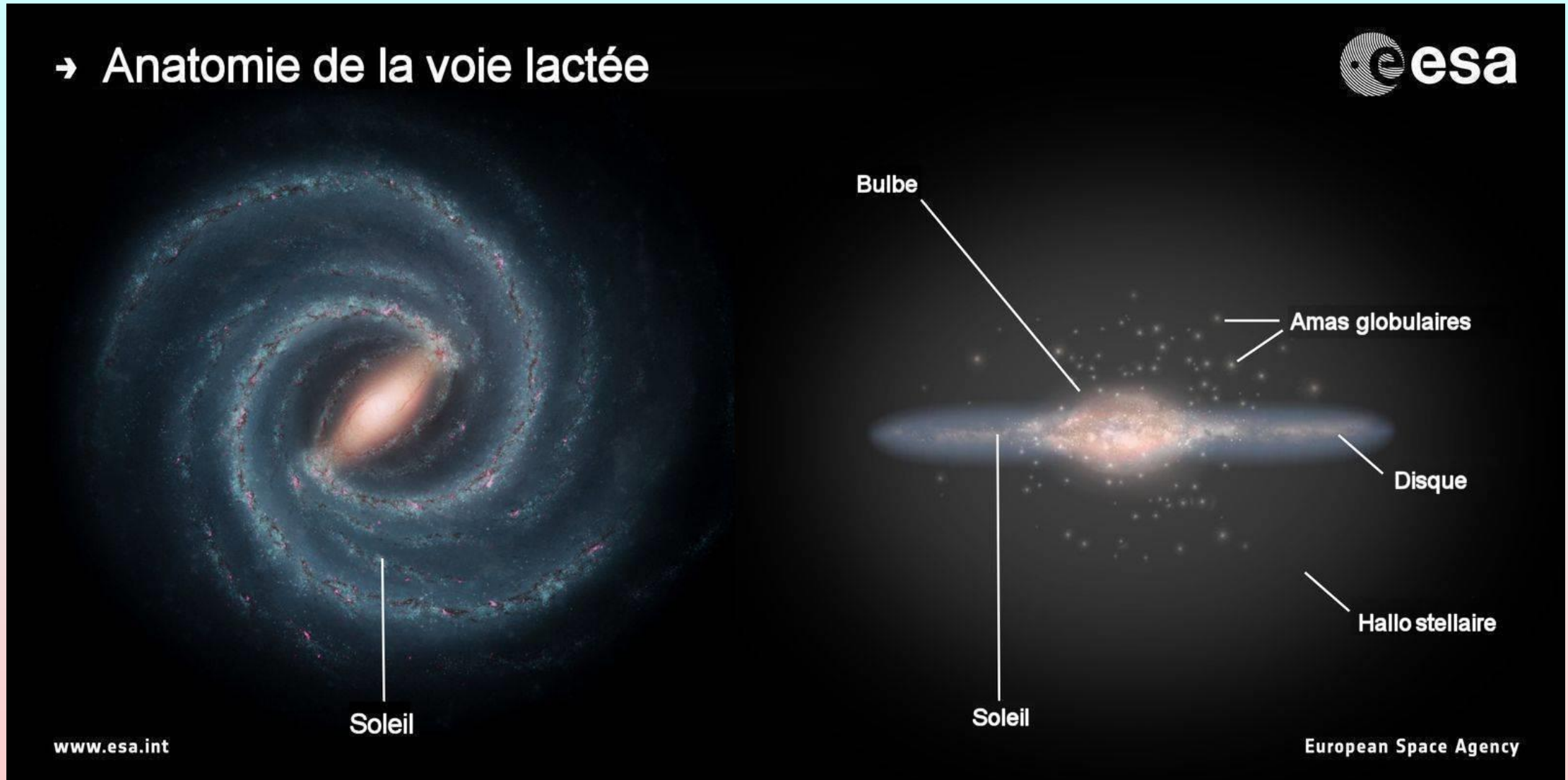
Le Soleil



The Hubble Extreme Deep Field

L'Univers est
parsemé
d'une
multitude
de galaxies.

Parmi lesquelles se trouve notre Galaxie



Le Soleil est une étoile de la Galaxie aussi appelée la Voie Lactée qui contient environ 140 milliards d'étoiles avec une masse entre 500 et 1600 milliards de masses solaires.



Notre galaxie la Voie Lactée ou la Galaxie (avec un G majuscule) vue depuis la Terre.
Assemblage de 1200 clichés. *Crédit* : ESO

Classification spectrale des étoiles

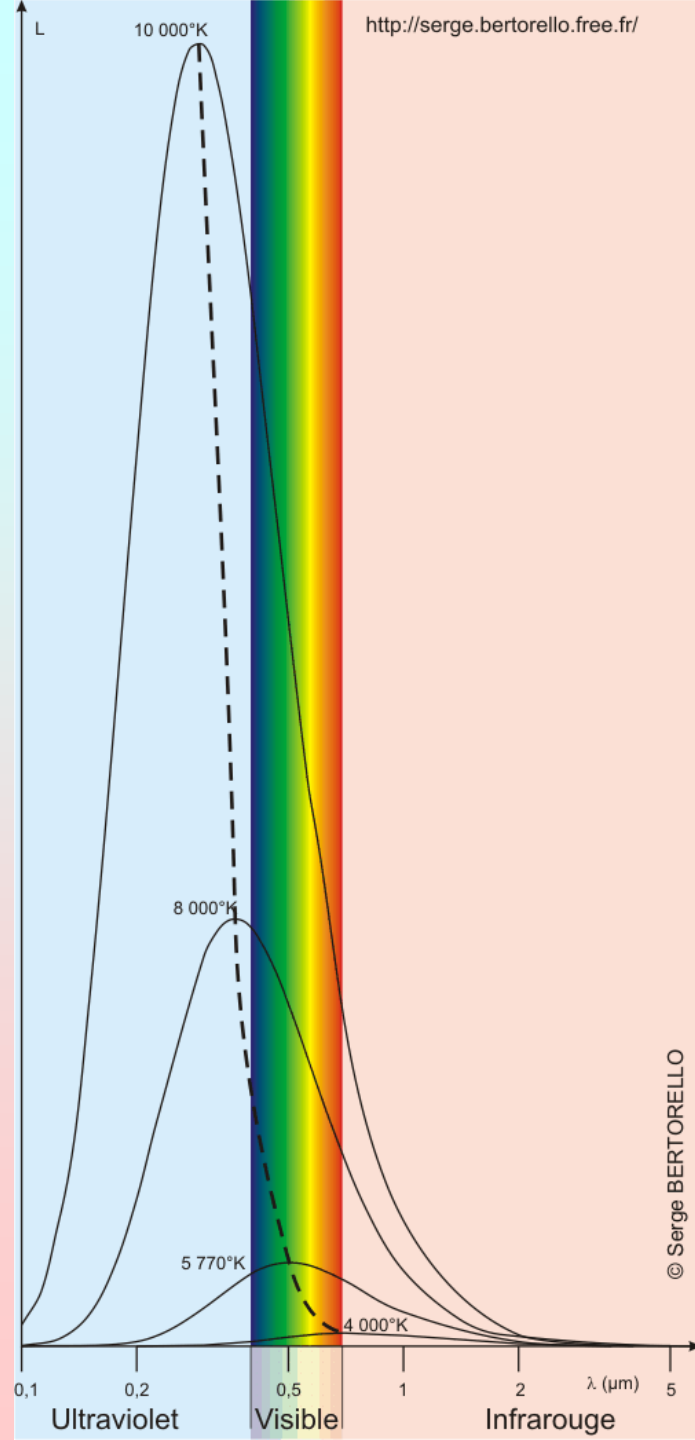
Type Spectral	Couleur	Température	Masse(en masses solaires)	Luminosité(en luminosités solaires)	Abondance
O	Bleue	25 000 K à 35 000 K	50	100 000	0.00001%
B	Bleue-Blanche	10 000K à 25 000K	10	1000	0.05%
A	Blanche	7 500 à 10 000 K	2	20	0.3%
F	Jaune-blanche	6 000 à 7 500 K	1.5	4	1.5%
G	Jaune	5 000 à 6 000 K	1	1	4%
K	Jaune-orange	3 500 à 5 000 K	0.7	0.2	9%
M	Rouge	< 3 500 K	0.2	0.01	80%

L'étude spectrale des étoiles, c'est-à-dire l'étude de leur lumière, permet de déterminer leur composition ainsi que leur température. On a classé les étoiles en fonction de leur température.

Voici un tableau résumant les caractéristiques des principales classes spectrales.

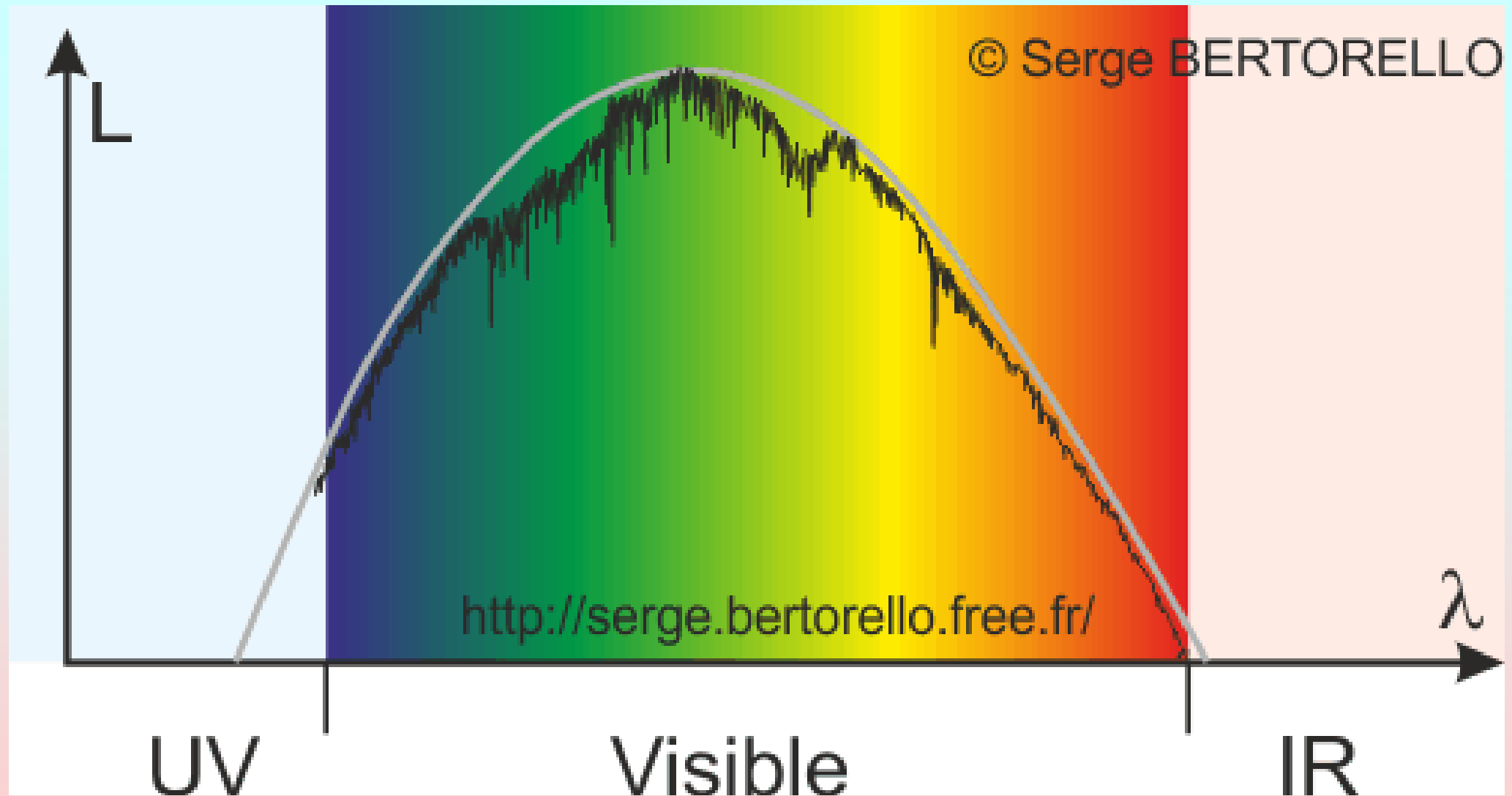
Le Soleil est de catégorie G, sa température de surface = 5500 °C = 5773 °K

Magnitude absolue du Soleil = 4,8



Loi de Planck : Grâce au concept des *quanta*, Planck a découvert la loi qui définit pour un corps noir la luminance énergétique monochromatique L en fonction de la température. Pour une température donnée elle suit une forme en cloche.

La courbe pointillée suit la position du maximum de la loi de Planck en fonction de la température, c'est la loi de Wien.



Spectre du Soleil comparé au spectre du corps noir.

La loi de Stefan-Boltzmann

Cette loi relie la puissance rayonnée par un corps noir à sa température absolue. Elle a été découverte expérimentalement en 1879 par Josef STEFAN (physicien autrichien 1838-1893) et établie théoriquement en 1884 par son élève Ludwig Boltzmann (physicien autrichien 1844-1906)

La loi de Stefan-Boltzmann donne la puissance totale M rayonnée par unité de surface du corps noir en fonction de sa température absolue T :

$$M = \sigma.T^4$$

σ est la [constante de Stefan-Boltzmann](#) :

$$\sigma = \frac{2\pi^5}{15} \frac{k^4}{c^2 h^3} = 5,6703.10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 .\text{K}^4)$$

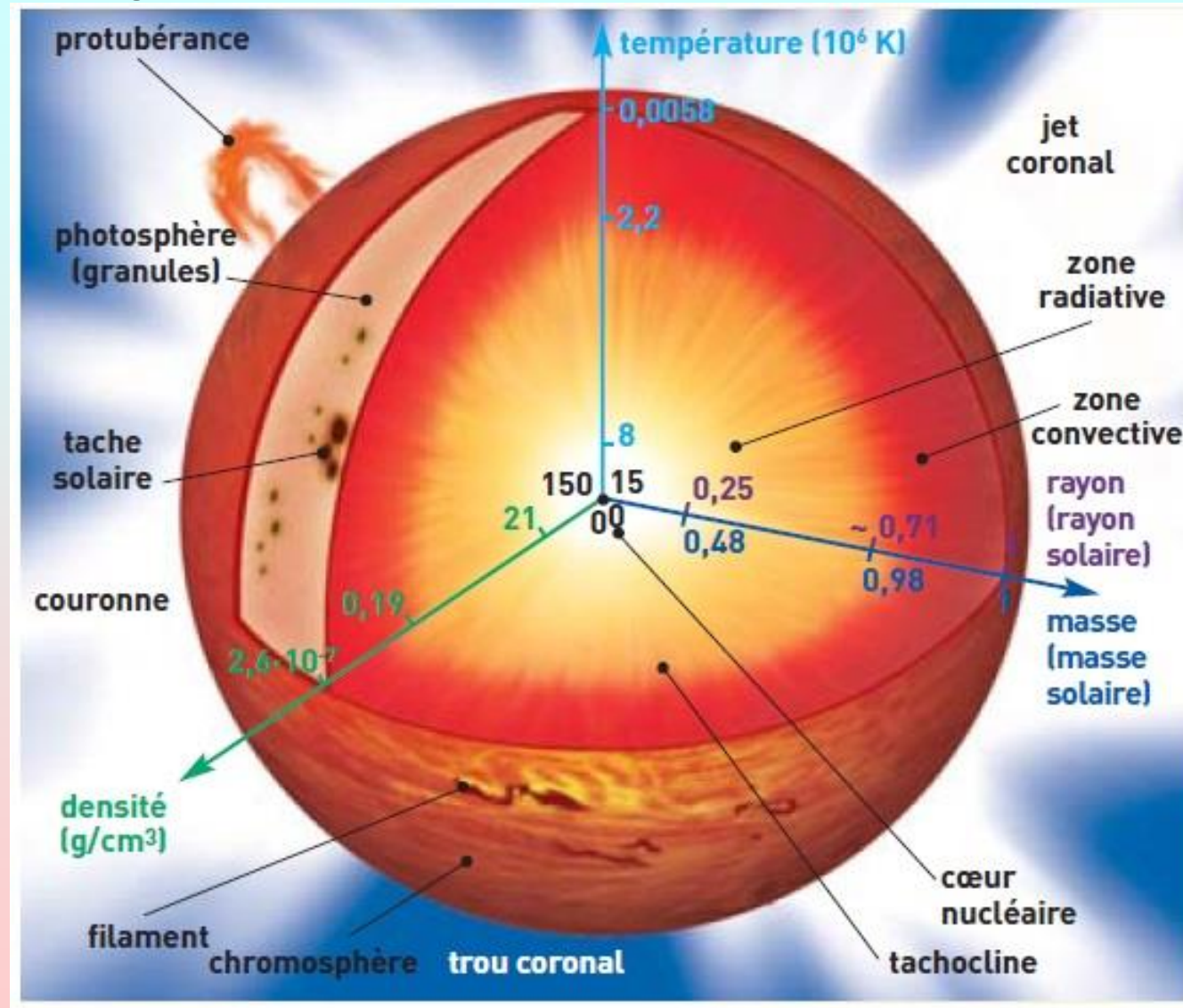
Pourquoi le Soleil brille-t-il ?

A l'origine les étoiles sont formées par la contraction d'un nuage de gaz et de poussière interstellaire (très majoritairement constitué d'hydrogène). La contraction sous l'effet de la gravitation le réchauffe.

Quand le cœur atteint une température suffisante (plusieurs millions de degrés), des réactions de fusion nucléaires débutent et un équilibre s'installe entre la contraction gravitationnelle et la dilatation thermique.

La fusion c'est ce processus que l'on cherche à imiter à ITER à Cadarache en transformant de l'hydrogène en hélium. Elle permettrait d'obtenir une source d'énergie peu coûteuse, propre et durable.

Pourquoi le Soleil brille-t-il ?



Le Soleil brille depuis
4,6 milliards d'années dans
un univers âgé de
13,8 milliards d'années.

Composition chimique du Soleil

Hydrogène	92,1 %
Hélium	7,8 %
Oxygène	0,061 %
Carbone	0,030 %
Azote	0,0084 %
Néon	0,0076 %
Fer	0,0037 %
Silicium	0,0031 %
Magnésium	0,0024 %
Souffre	0,0015 %
Autres	0,0015 %

Source Anne Vigouroux / OCA

Fusion au cœur du Soleil

Etape n°1



Etape n°2



Etape n°3



Proton



Neutron

Au centre du Soleil règne une pression de 200 milliards de fois la pression atmosphérique de la Terre et une température de 15 millions de degrés.

Dans ces conditions les protons (ou noyaux d'hydrogène) fusionnent en 3 étapes pour former des noyaux d'hélium 4.

Dans 1 milliard d'années
l'hydrogène se sera raréfié dans
le cœur du Soleil et la fusion de
l'hélium débutera.

Le Soleil deviendra alors une
géante rouge qui absorbera
Mercure, Vénus et probablement
la Terre.

L'espérance de " vie "
du Soleil est de 10 milliards
d'années à l'issue desquelles
il aura brûlé tout son
hydrogène et son hélium.

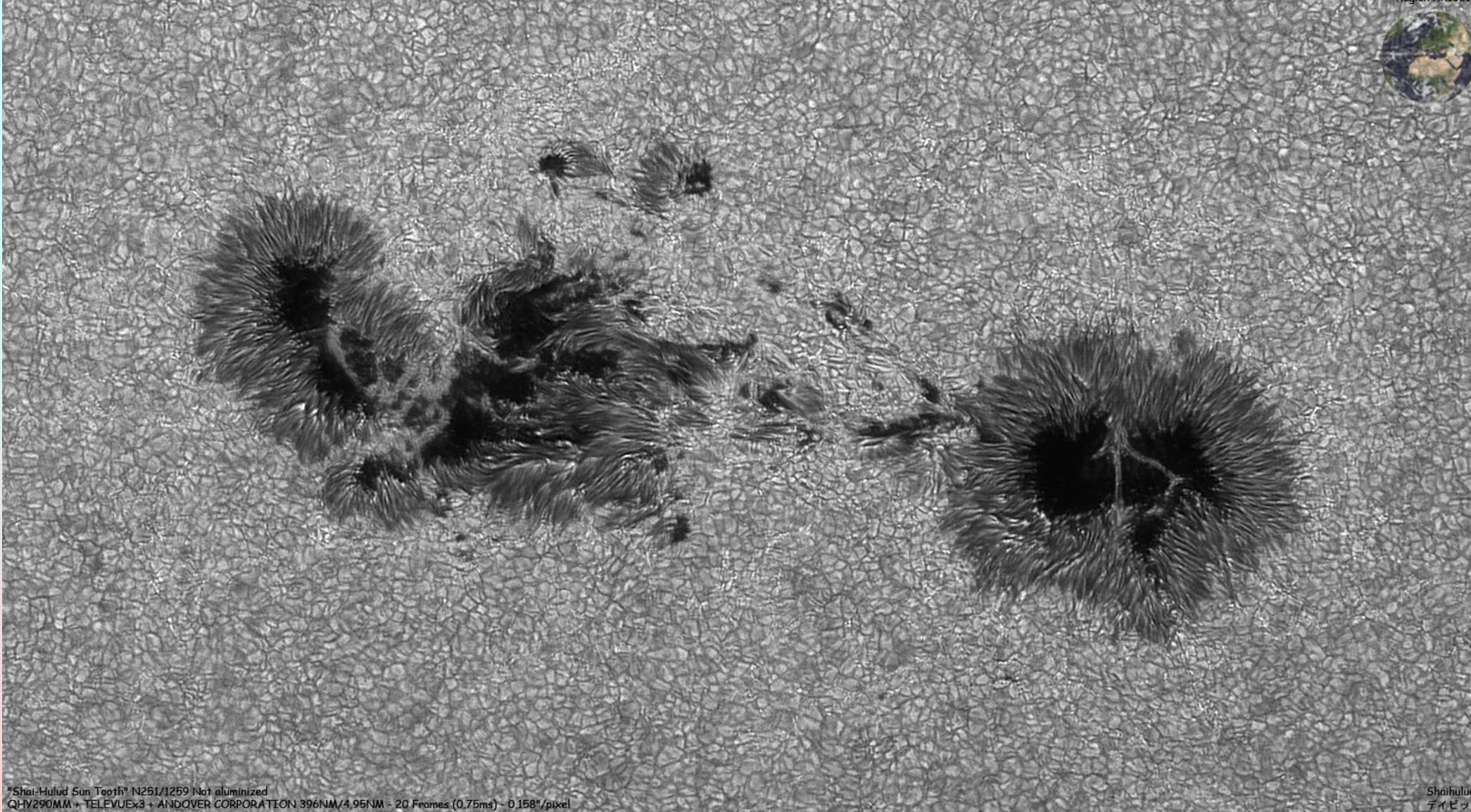
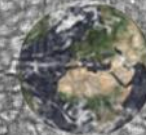


Apparence du Soleil en
lumière blanche.

On distingue des taches
qui ont une température
de 4000°k environ avec
leur pénombre.

Les taches se forment
souvent en groupe et
leur existence éphémère
dure quelques jours.

Soleil le 23 août 2024



"Shai-Hulud Sun Tooth" N251/1259 Not aluminized
QHY290MM + TELEVUEX3 + ANDOVER CORPORATION 396NM/4.95NM - 20 Frames (0.75ms) - 0.158"/pixel

ShaiHulud
デイビット

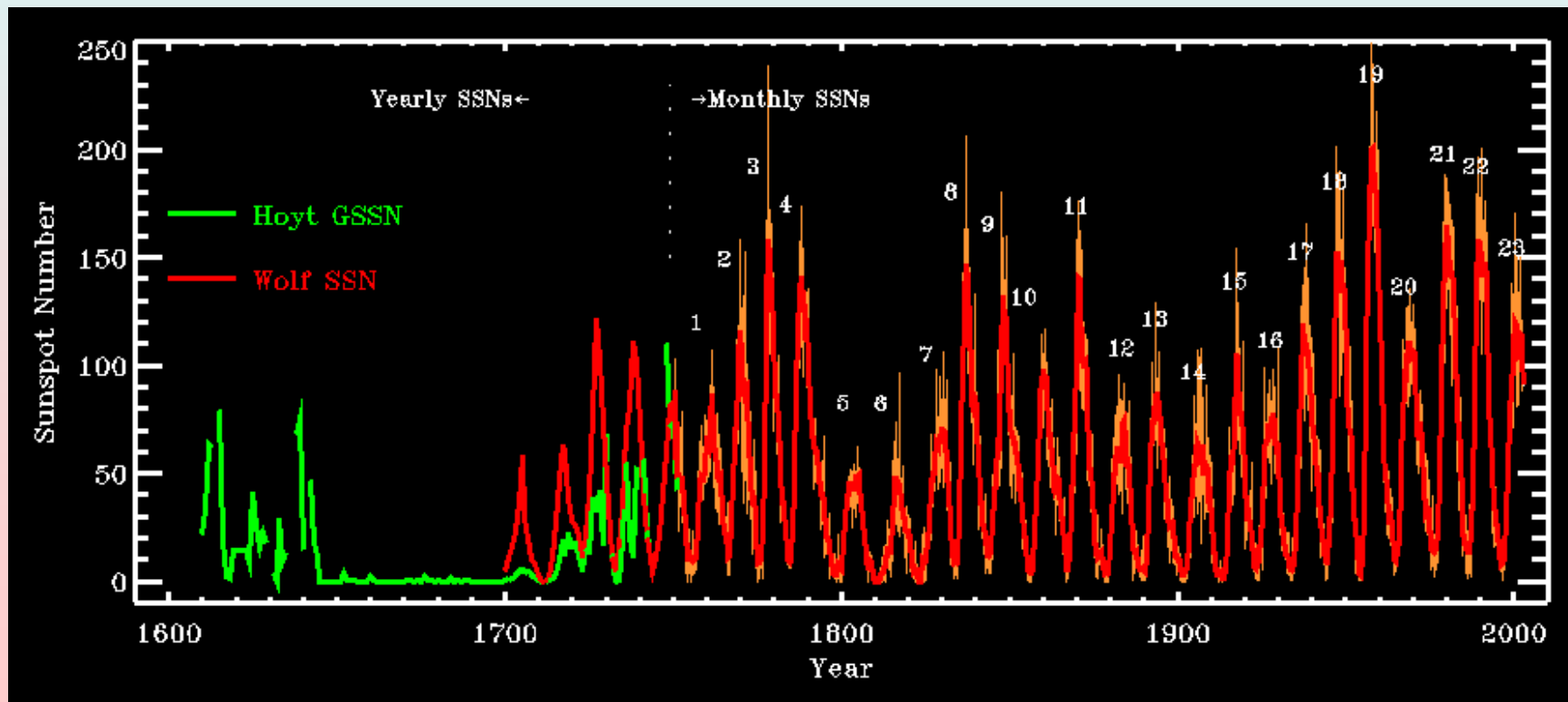
Sur cette image on peut voir en gros plan un groupe de taches solaires, chacune d'elles est entourée d'une pénombre. Le reste de la surface du Soleil est granuleux, chacun de ces granules a environ les dimensions de la France métropolitaine ($\sim 1000\text{Km} / 1''$).

Activité solaire

Le nombre de Wolf R est calculé en fonction du nombre de taches t et du nombre de groupes de taches g :

$$R = 10g + t$$

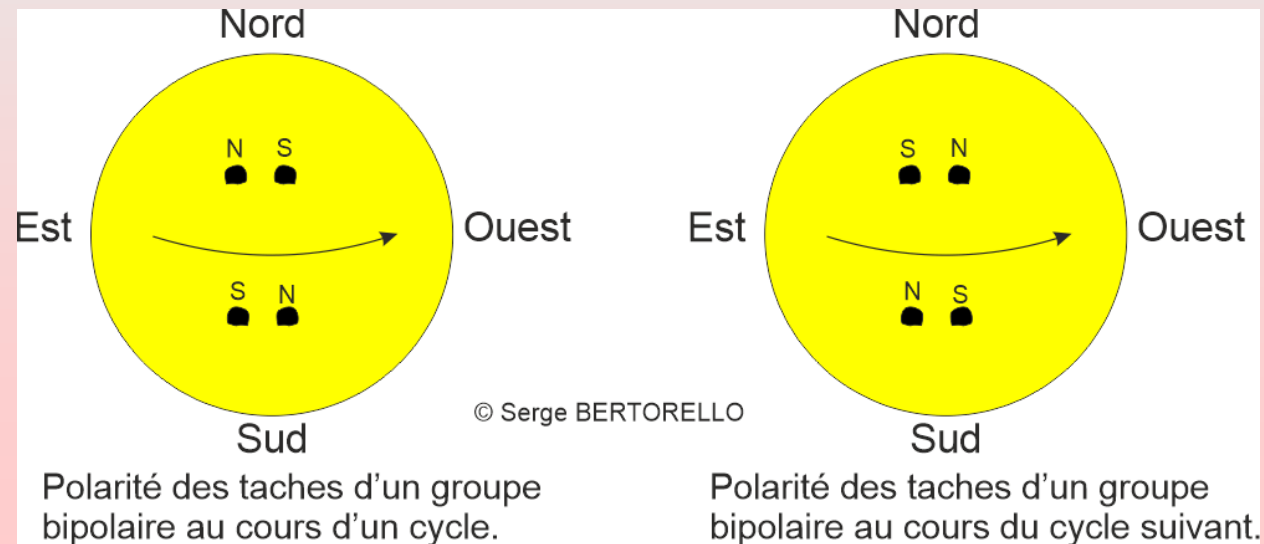
Il permet de quantifier l'activité du Soleil et témoigne d'une activité cyclique de 11ans.



Activité solaire

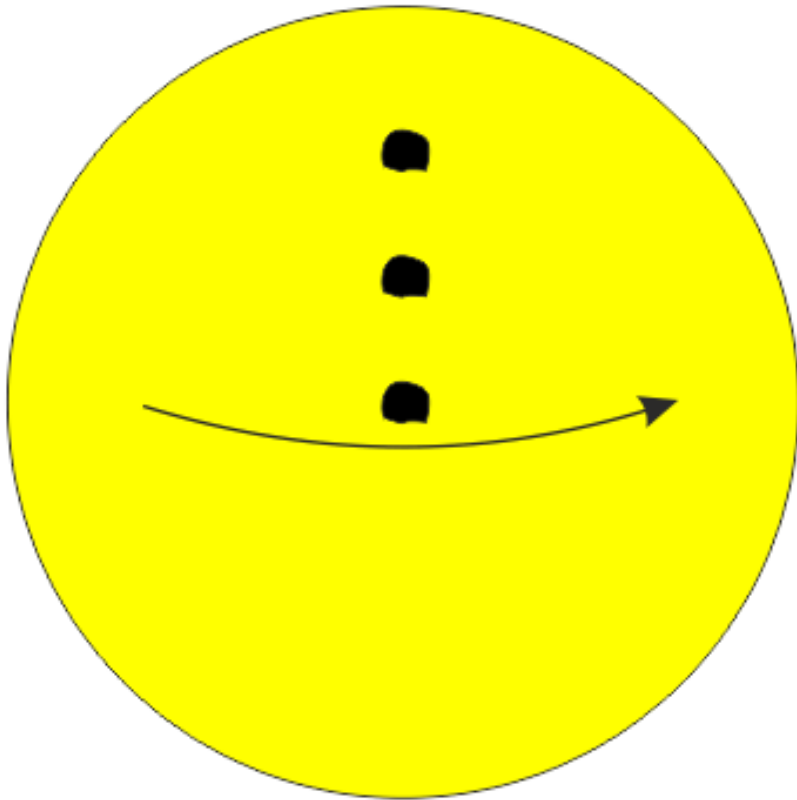
Avec le nombre de taches il apparaît aussi des zones plus lumineuses à la surface du Soleil. Ainsi la luminosité du Soleil augmente d'environ 0,1% lors du maximum d'activité. C'est faible mais cela a des conséquences sensibles sur le climat (Exemple : Minimum de Maunder 1645 à 1715).

Une analyse détaillée des groupes de taches met en évidence le champ magnétique de ceux-ci. Si les taches de tête ont un champ magnétique Nord, au cycle suivant elles auront un champ magnétique Sud. Cela fait dire à certains que la durée du cycle solaire est en fait de 22ans.



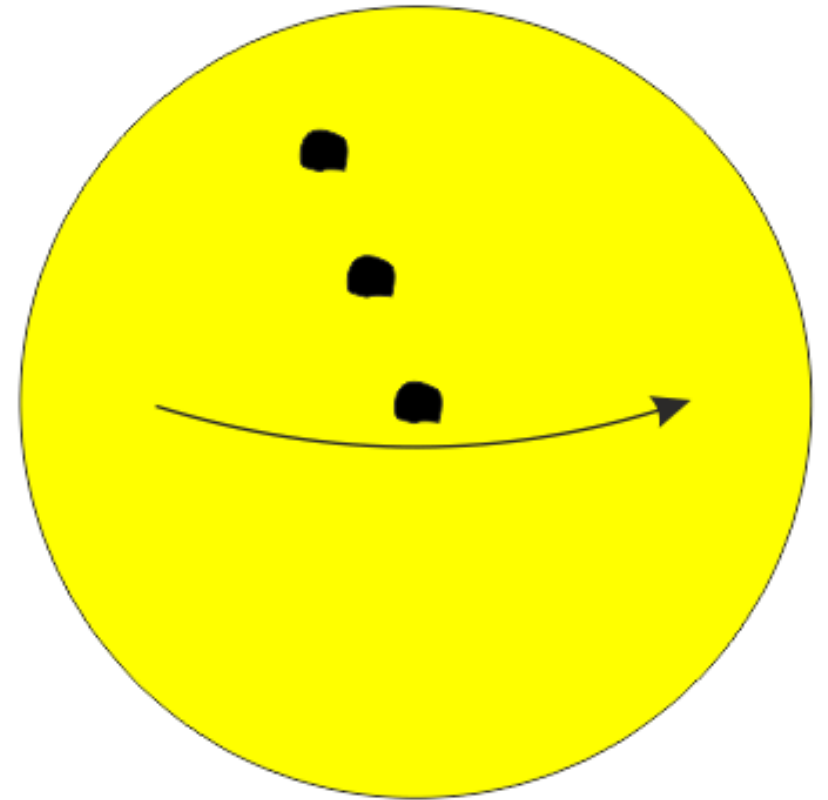
Rotation différentielle du Soleil

il ne tourne pas comme un solide



Départ

© Serge BERTORELLO



25 jours plus tard

Le Soleil en chiffres

Diamètre du Soleil = 1 392 684 km = 109 fois celui de la Terre

Masse du Soleil = $1,988 5 \times 10^{30}$ kg = 332 488 fois celle de la Terre

Durée de la rotation sidérale des taches solaires :

à l'équateur = 25 jours

à la latitude héliographique de 30° = 28 jours

à la latitude héliographique de 60° = 30,5 jours

Masse volumique moyenne = $1 408 \text{ kg/m}^3$

Masse volumique au centre = $150 000 \text{ kg/m}^3$

Gravité à la surface du Soleil = 274 m/s^2

La masse du Soleil diminue de plus de **4,26 millions de tonnes** à chaque seconde sous le seul effet de son rayonnement électromagnétique. Cela semble énorme, mais la masse du Soleil est telle qu'il pourra supporter ce rythme pendant très longtemps...

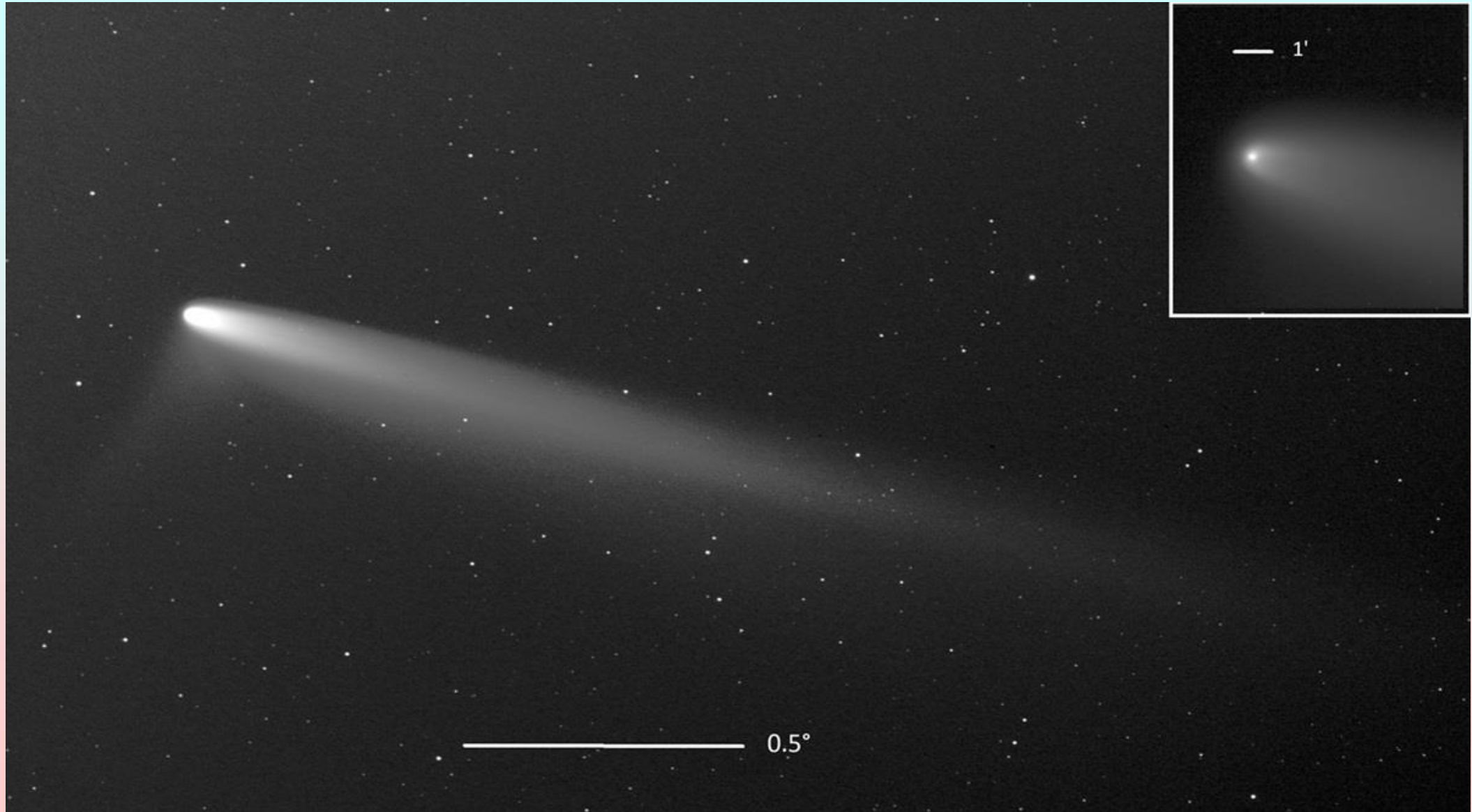
La pression de radiation

La lumière exerce une pression sur les objets qu'elle rencontre. Elle est particulièrement efficace sur les molécules de gaz, ceci explique la direction que prennent les queues de gaz des comètes. Elle est beaucoup moins sensible sur les queues de poussières.



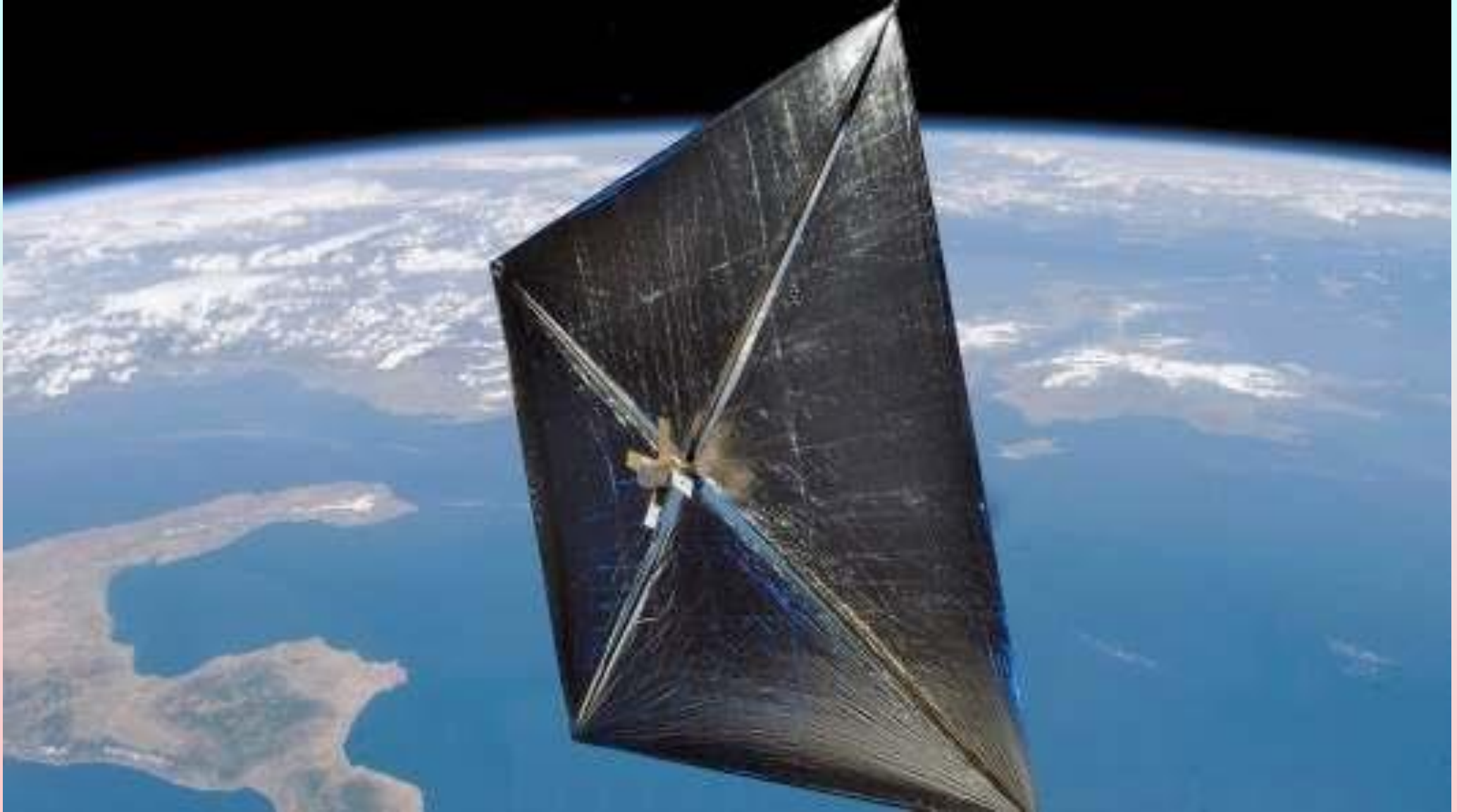
La comète HALLE-BOPP le 09/03/97. Pose de 4h34 à 5h34 (60mn) sur TP2415 H122 avec téléobjectif Nikon 4/200mm diaphragmé à 5,6. Dérive réglée sur le mouvement de la comète.

La pression de radiation



Comète Tsuchinshan-ATLAS C2023_A3 le 24/09/2024 par Patrick Litz avec lunette FSQ 106,

La pression de radiation



C'est la pression de radiation qui pousse une voile solaire

Le vent solaire

Le Soleil émet en permanence près de 1 million de tonnes de matière par seconde dans le milieu interplanétaire. C'est ce que l'on appelle le vent solaire. Le vent solaire est un plasma c'est-à-dire un gaz constitué principalement d'électrons et de protons mais également d'ions tels que He^2 et d'autres plus lourds.

La vitesse du vent solaire lent est d'environ 300km/s. Il varie peu en fonction du cycle solaire et ne dépend pas de l'activité solaire. Le vent solaire rapide quant à lui est varié entre 500 et 800 km/s. Il dépend fortement du cycle et de l'activité solaire. Ce sont ses sursauts qui pourront avoir des conséquences sur Terre.

Attention à ne pas confondre le vent solaire avec la pression de radiation.

La lumière zodiacale



La **lumière zodiacale** est une faible lueur de forme triangulaire visible sur le ciel nocturne et qui s'étend le long de la direction du Soleil dans la zone du zodiaque. Elle est due à la réflexion de la lumière solaire sur la poussière cosmique orbitant proche de la Terre.

Deux heures après le coucher du Soleil, la lumière zodiacale et la Voie lactée sont superbes au-dessus de l'ouest et du chaos granitique de Serre de Monjol. © Guillaume Cannat - La lettre du Guide du Ciel - 1er février 2024

Observations du Soleil

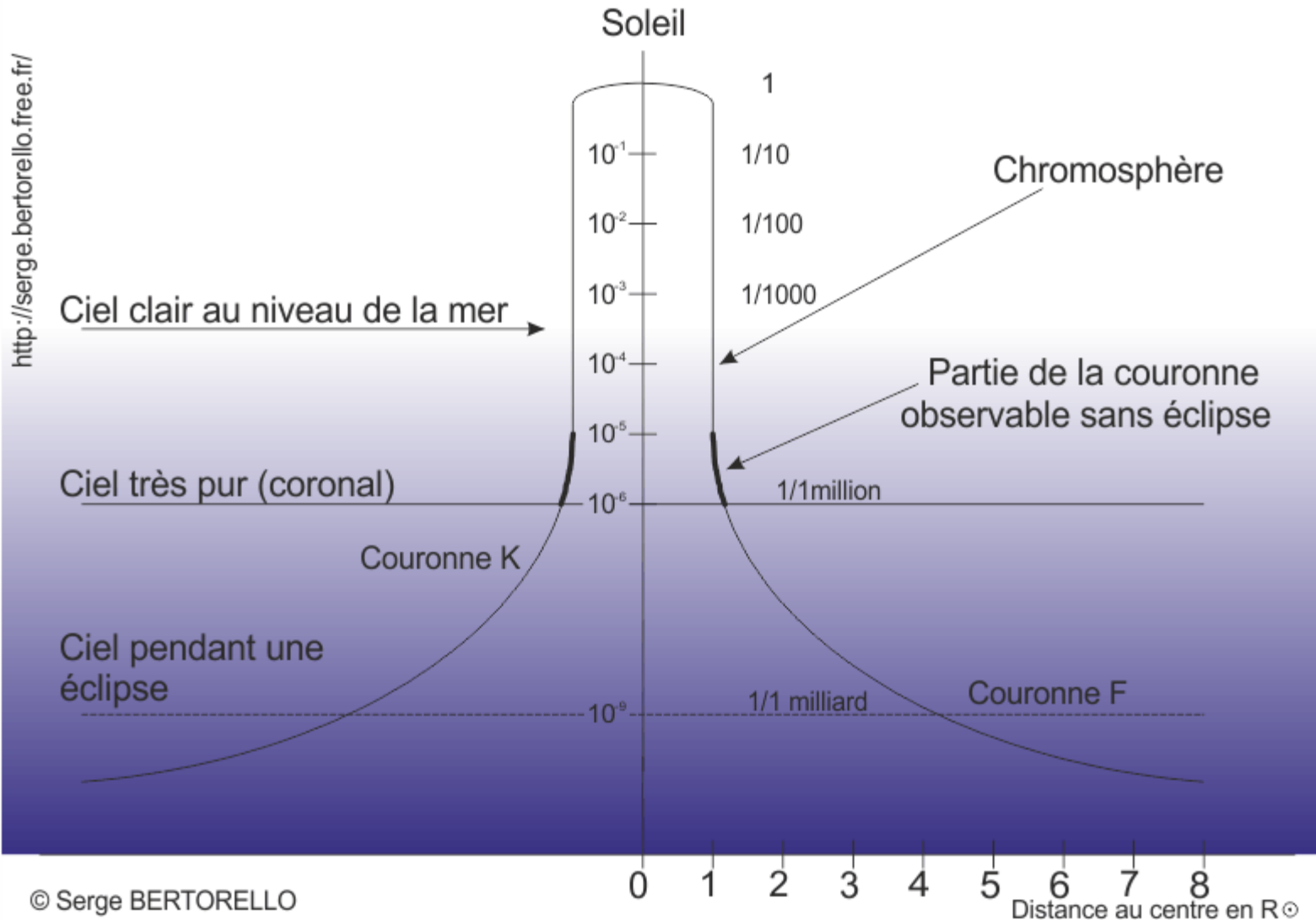
Observations du Soleil



Soleil le 01/10/2024
Avec le télescope Pythéas
D=254 mm F/D=4,07 +
correcteur de champ + filtre
Mylar pleine ouverture

Les dangers de l'observation du Soleil

Brillance du Soleil en fonction de la distance au centre



Le Soleil est si lumineux qu'il représente un grave danger pour nos yeux.

Pour l'observer, il faut atténuer 100 000 fois son éclat de façon fiable. Il faut impérativement éviter les bricolages improvisés.

Il ne faut pas le regarder directement même à l'œil nu.

Les dangers de l'observation du Soleil



Le Soleil est si lumineux qu'il représente un grave danger pour nos yeux.

Pour l'observer, il faut atténuer 100 000 fois son éclat de façon fiable. Il faut impérativement éviter les bricolages improvisés.

Une démonstration spectaculaire de ce danger consiste à enflammer un bout de bois à la sortie de l'oculaire d'un télescope sans filtre.

Observation de la photosphère



Observation visuelle ou photographique avec un filtre « pleine ouverture ».

Séance d'observation publique du passage de Vénus le 8 juin 2004

Observation de la photosphère



© Serge BERTORELLO

Observation visuelle ou photographique avec un filtre « pleine ouverture ».

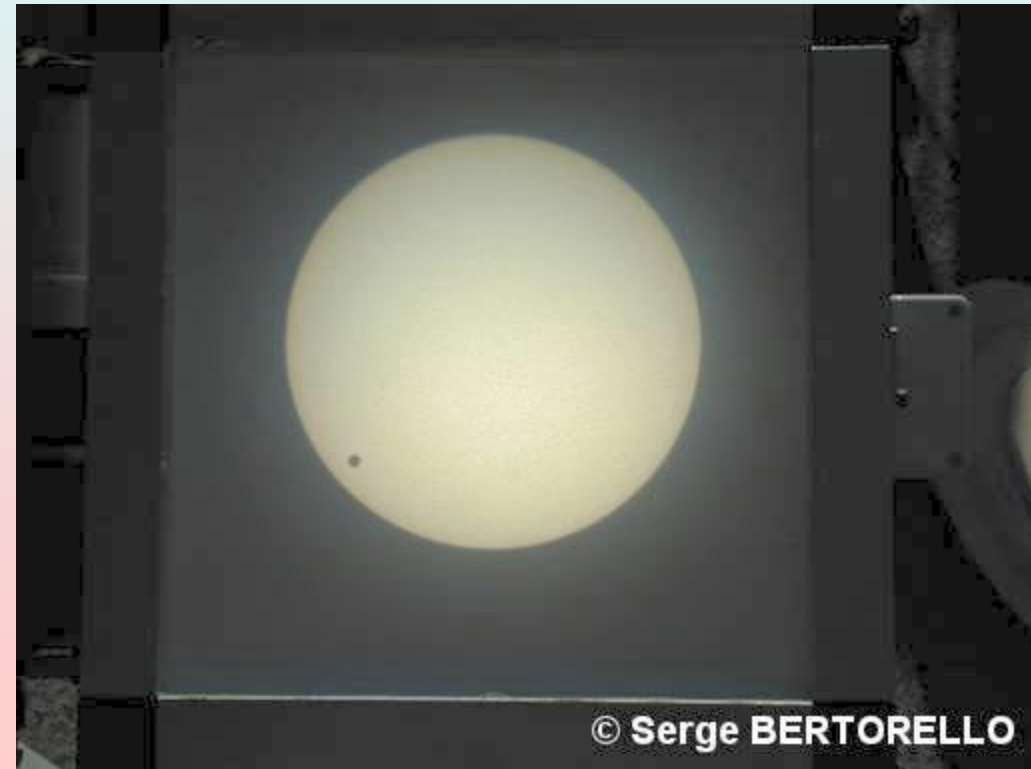


© Serge BERTORELLO

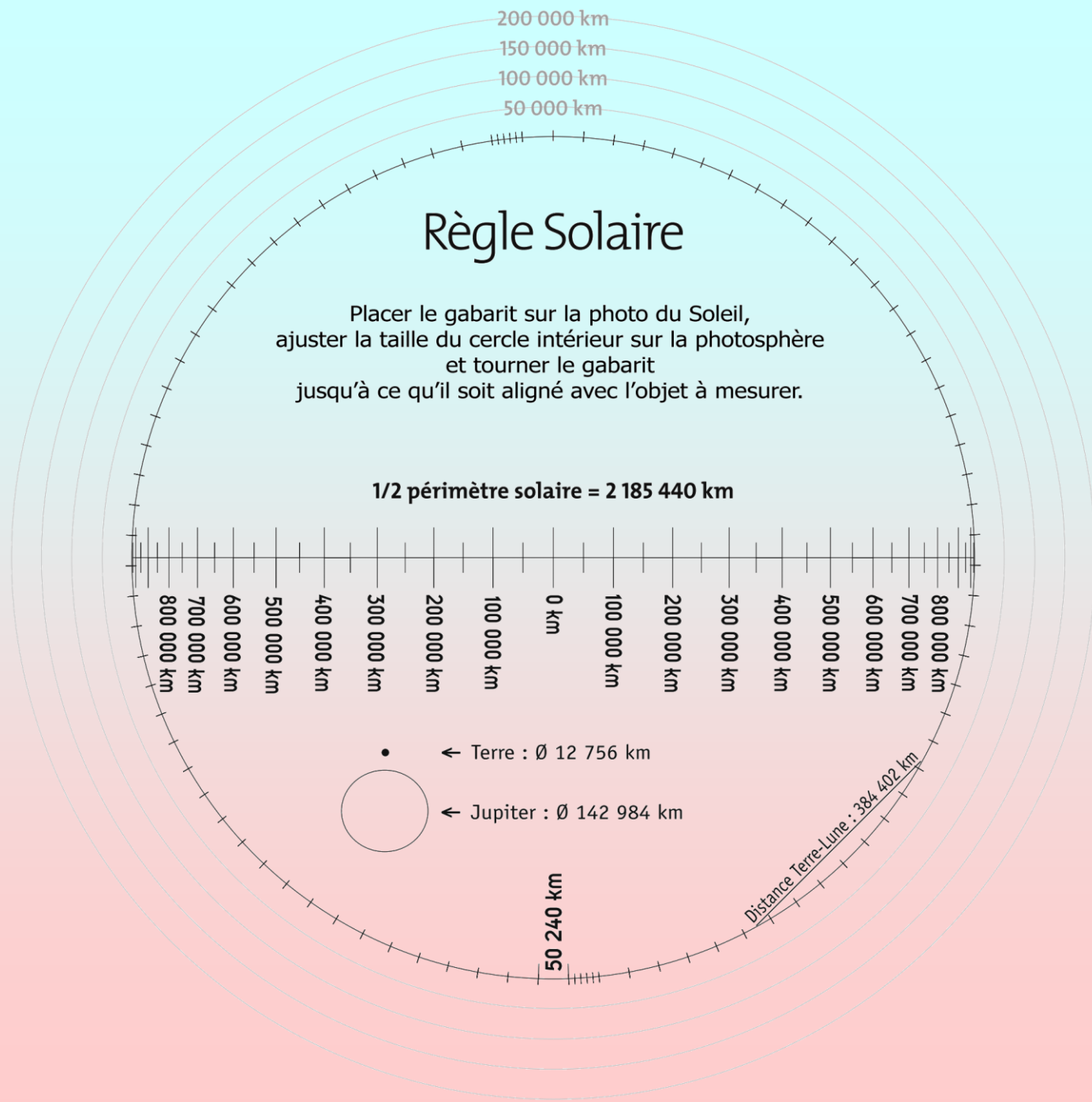
Observation de la photosphère



Observation visuelle par projection.

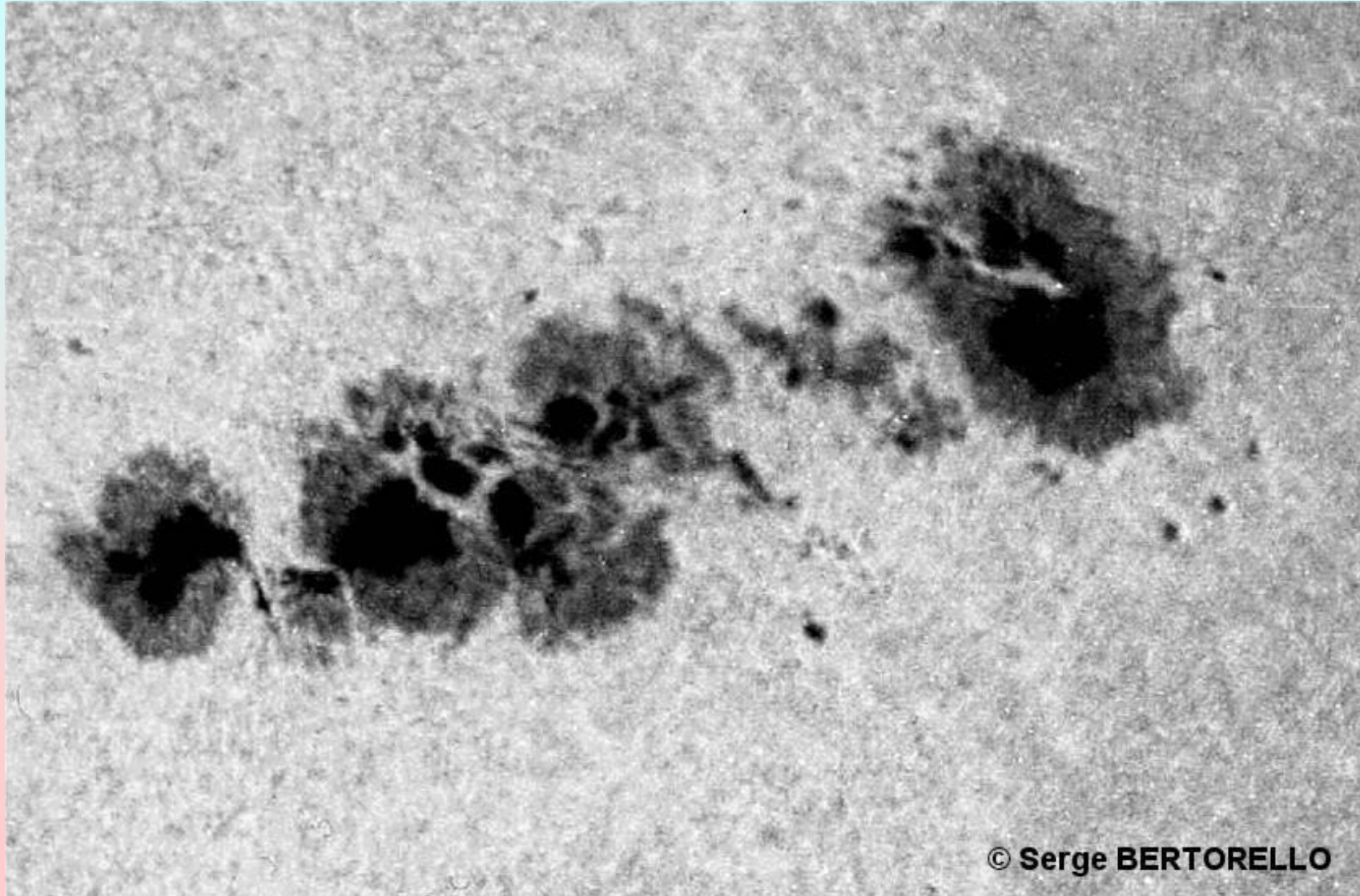


Passage de Vénus du 8/6/2004



Règle solaire

Observation de la photosphère

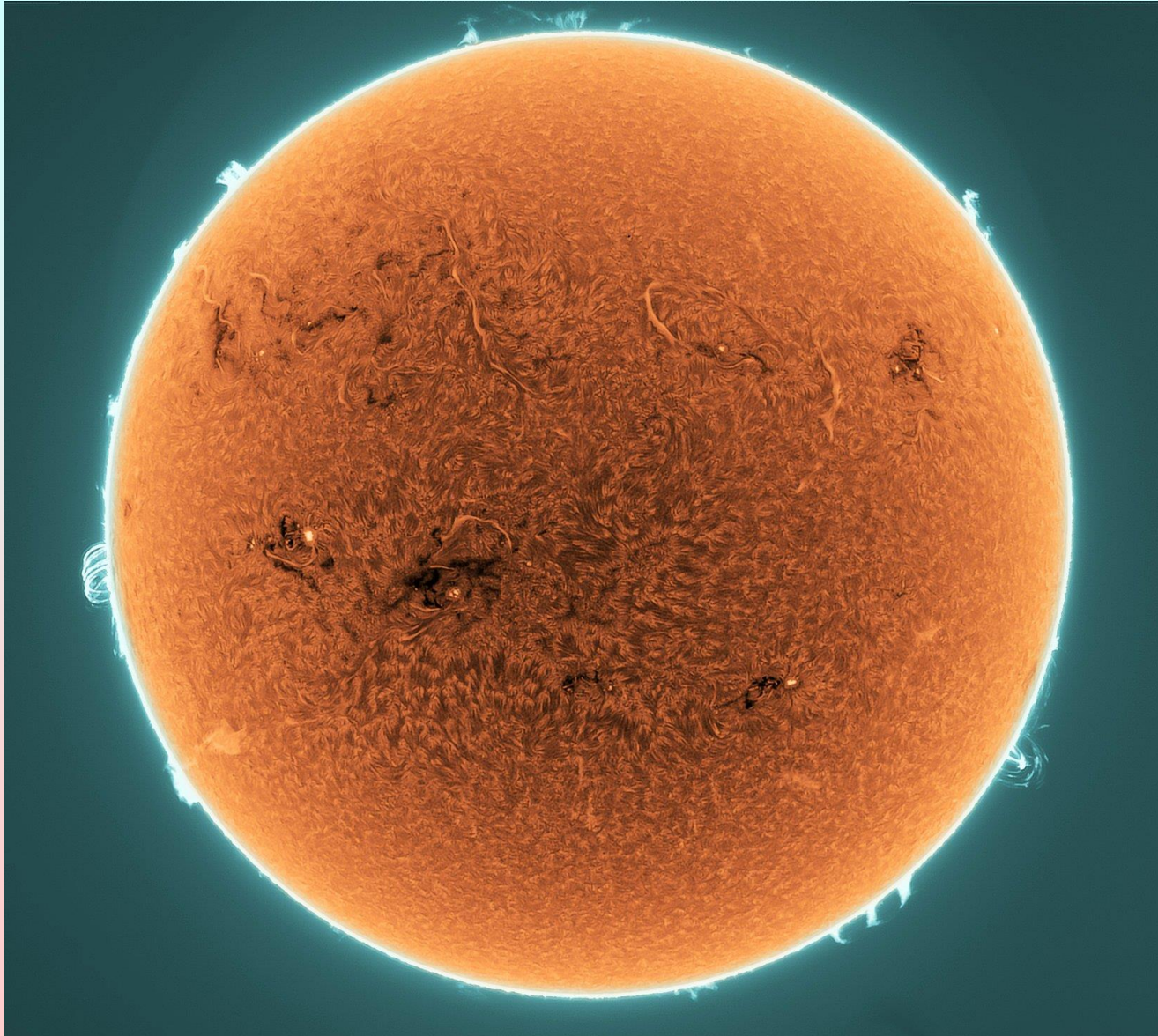


Observation visuelle ou photographique.

Estimation du nombre de Wolf.

Groupe de taches sur le Soleil le 15/08/1981

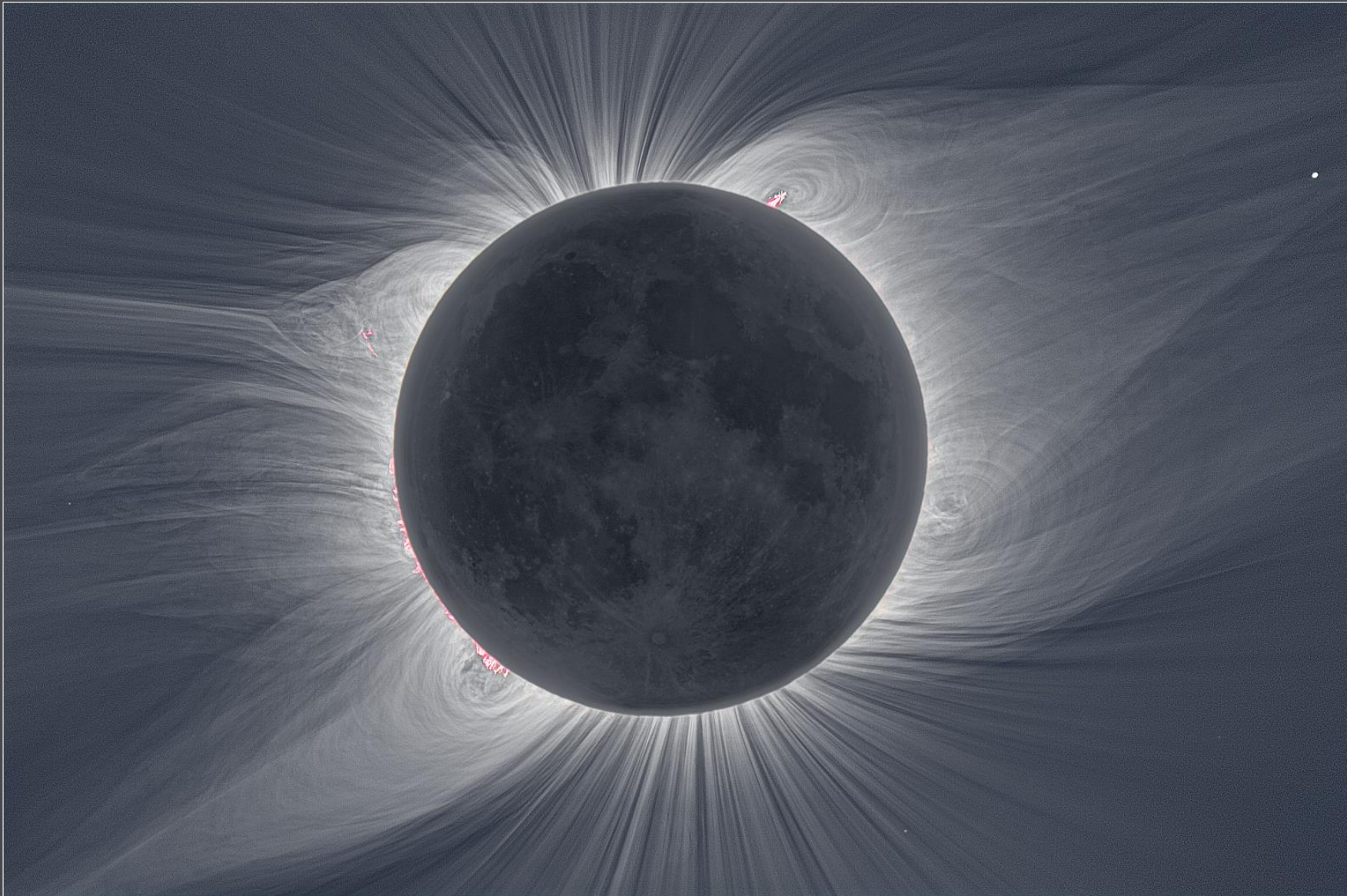
Observation de la photosphère



Observation en filtrant une longueur d'onde particulière comme ici, par exemple, dans le rayonnement de l'hydrogène.

Image Credit & Copyright: Steen Søndergaard
paru dans APOD

Observation de la couronne solaire lors d'une éclipse de Soleil



Observation de la couronne solaire avec un coronographe



© Serge BERTORELLO

Les protubérances du Soleil le 10 juillet 1999 à 7h15 TU photographiées sur TP2415 depuis Marseille avec le coronographe de l'AMAS.

Le Soleil offre un spectacle
sans cesse changeant
ce qui rend son observation
passionnante.