

**Zeitschrift:** Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft  
**Herausgeber:** Schweizerische Astronomische Gesellschaft  
**Band:** 56 (1998)  
**Heft:** 287

**Artikel:** L'univers, dis-moi ce que c'est? : Épisode 15 : les étoiles, sixième partie  
**Autor:** Barblan, Fabio  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-897505>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 16.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Literatur

Für eine allgemein verständliche Beschreibung der spektralen Klassifikation und der charakteristischen Sterne: «JAMES B. KALER, *Sterne und ihre Spektren - Astronomische Signale aus Licht*, Spektrum Akademischer Verlag, 1994».

Für eine exakte Beschreibung der Klassifikation und seines Ablaufes: «CARLOS JASCHEK & MERCEDES JASCHEK, *The Classification of Stars*, Cambridge University Press, 1990».

Für eine allgemein verständliche, wunderbare Beschreibung der Quantenphysik: «TONY HEY und PATRICK WALTERS, *Quantenuniversum - Die Welt der Wellen und Teilchen*, Spektrum der Wissenschaft, 1990»

Autoren

MARCEL PROHASKA, ERICH WENGER  
Astronomisches Institut Universität Bern,  
Sidlerstrasse 5, CH-3012 Bern

DR. CHARLES TREFZGER

Astronomisches Institut Universität Basel  
Venusstrasse 7, CH-4102 Binningen

Kürzel	Name	Beschreibung	Ursache
n	nebulous	diffuse, verwaschene Linien	rasche Rotation
nn		sehr diffuse Linien	
s	sharp	scharfe Linien	
e	Emission	Emissionslinien (H-Emission bei O-Sternen)	ausgedehnte Hüllen
em		Metall-Emissionslinien	
ep	peculiar	Emissionslinien mit Besonderheiten	
eq		P-Cygni-Emissionslinien (Absorptionskomponente an der kurzwelligen Seite)	
er	reserved	Emissionslinien mit zentraler Einsenkung	
f		He- und N-Emissionslinien von Metallen	
wk	weak	schwache Linien	
m		starke Absorptionslinien von Metallen	
v	variable	Veränderliches Spektrum	
k	K-line	starke interstellare Kalzium-Linien (H & K)	
!		besondere Auffälligkeiten	
pec	peculiar	Besonderheiten, die sich nur durch ausführliche Beschreibung zu erfassen sind	

Tab. 10: Angaben über Besonderheiten im Spektrum

# L'Univers, dis-moi ce que c'est?

## Episode 15: Les étoiles, sixième partie

FABIO BARBLAN

### 9) Une étoile particulière: le Soleil

Nous savons aujourd'hui que du point de vue astronomique, en tant qu'objet étoile, le Soleil n'a rien de particulier. C'est une étoile ordinaire de la séquence principale du diagramme de Hertzsprung-Russell.

Par contre, elle est tout à fait particulière et joue un rôle capital pour l'homme et toute la biosphère terrestre. L'influence que le Soleil exerce sur cette dernière est loin d'être complètement comprise et maîtrisée. La vie est possible sur la Terre parce qu'elle se trouve, entre autres, à la bonne distance du Soleil pour garantir une certaine température moyenne, ou l'eau, élément vital pour le règne vivant, peut exister sous forme liquide. Mais le Soleil, malgré le fait qu'il se trouve encore dans la phase «tranquille» de son histoire, à mi-chemin de l'agitation finale qui va l'amener vers un état de naine blanche, il a des périodes d'activité plus ou moins intenses qui peuvent agir d'une façon encore inconnue sur notre biosphère (par exemple le réchauffement de l'atmosphère).

Mais revenons à l'astronomie. Dire que le Soleil n'a rien de particulier est, malgré tout, incorrect sur un point au moins; c'est, en fait, la seule étoile dont on peut aisément étudier et observer la surface. De ce point de vue là elle reste pour les astronomes un objet tout à fait exceptionnel. Parce qu'elle joue un rôle particulier pour l'homme et parce qu'elle est, probablement, l'étoile la plus étudiée par les astronomes, nous lui consacrons entièrement cet épisode final de la série consacrée aux étoiles.

Le Soleil est une étoile moyenne appartenant à la séquence principale (du diagramme de Hertzsprung-Russell), de type spectral G2 IV, ayant une température effective de 5700°K, sa densité est de 1,4 g/cm<sup>3</sup> et il est animé d'un mouvement de rotation différentiel (fig. 1)(mis en évidence par les taches solaires) de 25.38 jours. La vitesse de rotation à l'équateur est de 2 km/s et l'axe de rotation est incliné de 70° et 15' sur le plan de l'écliptique. Il se déplace avec son cortège de planètes à une vitesse d'environ 250 km/s autour du centre de la galaxie (la Voie lactée).

La lumière qui nous parvient du Soleil, et qui contribue, au niveau de la Terre, à donner au spectre solaire ses caractéristiques, est engendrée dans différentes couches ayant des épaisseurs différentes et situées à des profondeurs différentes.

**La photosphère:** donne les 90% de l'énergie rayonnée depuis le proche ultraviolet jusqu'à l'infrarouge lointain. C'est la couche la plus profonde à partir de laquelle nous obtenons du rayonnement. Elle possède environ une épaisseur de 300 km et sa limite supérieure constitue le bord visible du Soleil. Elle est responsable des raies d'absorption dans le spectre solaire.

**La chromosphère:** dans la photosphère la température décroît progressivement de l'intérieur vers l'extérieur (elle provoque entre autres l'assombrissement du bord du disque solaire). Le minimum de température indique le début de la chromosphère dont l'épaisseur est d'environ 5000 km. Cette partie de l'atmosphère solaire est responsable des raies d'émission.

**La couronne solaire (chromosphère):** une augmentation brutale de la température qui croît rapidement jusqu'à un million de degrés marque la transition entre la chromosphère et la couronne solaire (fig. 2). Cette couche est responsable d'un fond continu faible avec des raies d'émission, l'émission d'ondes radios et de rayons X.

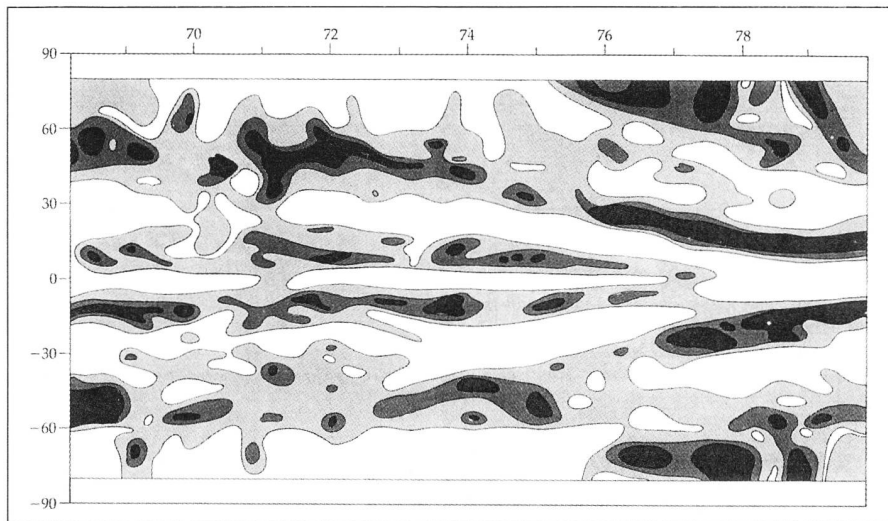


Figure 1: Cette image donne les fluctuations de la vitesse de rotation du Soleil aux différentes latitudes. Les zones tournant plus vite que la moyenne sont en noir, celles tournant plus lentement que la moyenne sont blanches. Ce phénomène est connu sous le nom d'oscillation de torsion du Soleil. Une zone de rotation rapide migre du pôle vers l'équateur en 22 ans; lorsqu'une telle zone atteint la latitude de  $\pm 30^\circ$  un nouveau cycle solaire commence.

L'étude du Soleil a amené à distinguer deux phases fondamentalement différentes: le Soleil au repos et le Soleil actif.

**Le Soleil au repos:** cet état est caractérisé par une granulation (la surface est parsemée de taches claires séparées par des étroites zones sombres) régulière de la photosphère. La dimension d'une granulation est en moyenne de 1000 km avec une différence de température entre la zone foncée et la zone claire d'environ 300 degrés. La durée de



Figure 2: La couronne solaire lors de l'éclipse du 30 juin 1973. L'extension équatoriale indique un Soleil en période calme.

vie moyenne d'une telle granulation est d'environ 8 à 10 minutes. La chromosphère est parsemée de «flames» (spiculae) de 1000 km de large et pouvant atteindre une hauteur de 10000 km. La couronne solaire montre un aplatissement aux pôles et un élargissement à l'équateur.

**Le Soleil actif:** le fait marquant du Soleil actif sont les taches solaires (fig. 3); elles apparaissent isolées ou en groupes. Elles sont situées dans deux bandes symétriques par rapport à l'équateur comprises entre les latitudes de  $35^\circ$  et  $50^\circ$  nord et sud. Une tache solaire se caractérise par une zone centrale noire

(umbra) entourée d'une zone plus claire (penumbra)(fig. 4 et 5). En moyenne la partie centrale sombre possède un diamètre de  $10^4$  km (fig. 6) et la différence de température entre cette zone centrale et le bord plus clair est d'environ  $2700^\circ\text{K}$ . Le type spectral de la zone sombre est K0 et ressemble à celui du

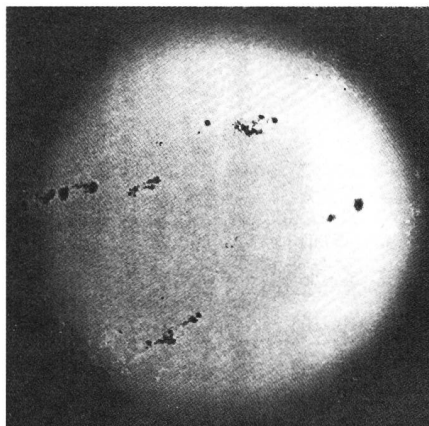


Figure 3: Soleil près du maximum d'activité le 21 décembre 1957. On remarque les taches solaires distribuées dans deux zones parallèles.

bord du disque solaire. L'étude de l'effet Zeeman<sup>1</sup>, montre que toutes les taches solaires sont accompagnées de phénomènes magnétiques intenses (champ moyen de  $1400$  Gauss<sup>2</sup>). La vie moyenne d'une tache solaire est de 4 jours pour les plus petites et de 100 jours pour les plus grandes. Associées avec les taches solaires on trouve un réseau de plages faculaires claires situées dans la chromosphère. Dans les régions entre les taches solaires d'un même groupe ou dans son voisinage immédiat ( $< 105$  km) on observe souvent un spot (flash) lumineux, c'est une éruption chromosphérique. Une théorie satisfaisante de ces éruptions chromosphériques n'existe

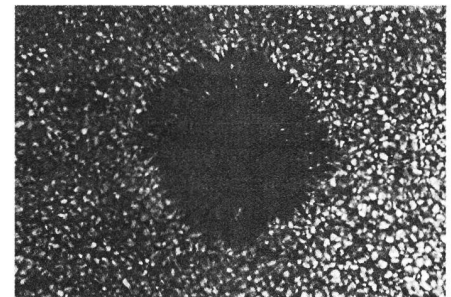


Figure 4: Une tache solaire isolée et la granulation de la surface du Soleil dans son immédiat voisinage.

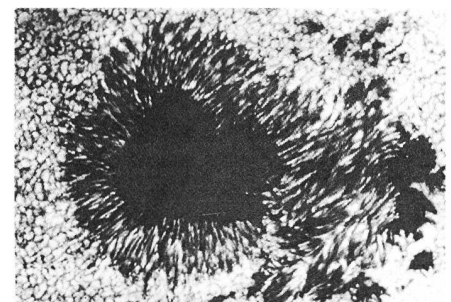


Figure 5: Tache solaire, on remarque la structure complexe de la zone de «penumbra»

pas encore, mais on peut certainement affirmer qu'elles sont liées aux phénomènes magnétiques intenses qui accompagnent les régions des taches solaires. L'activité solaire se fait sentir sur terre par l'intermédiaire d'un vent solaire (voir plus loin dans le texte) accru dont l'interaction avec la magnétosphère terrestre provoque des aurores boréales,

<sup>1</sup> L'effet Zeeman (découvert en 1896 par Zeeman) concerne les raies spectrales (en émission ou absorption) d'atomes dans un champ magnétique. Une même raie est subdivisée en un certain nombre de raies de fréquences extrêmement proches.

<sup>2</sup> Le Gauss est une unité de mesure de l'induction magnétique B. Le Gauss est mesuré en cm, g et s et on a la relation suivante:  $10^4$  Gauss = 1 Volt s m<sup>-2</sup>. Dans le cas de la Terre l'induction magnétique est de l'ordre de 0.2 Gauss.

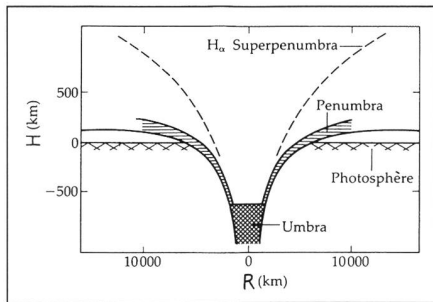


Figure 6: Schéma de la structure d'une tache solaire, montrant les zones d'umbra et de penumbra. L'axe horizontal donne le rayon de la tache. Comme le schéma l'indique une tache solaire représente une dépression de la surface du Soleil. La hauteur H de cette dépression entre le niveau supérieur de la «penumbra» et «l'umbra» est dite dépression de Wilson.

des perturbations des communications radio et certainement des modifications, pas encore très bien connues, du comportement humain et de la biosphère terrestre en général.

Après une période de calme, de quelques années, le Soleil est entré en novembre 1997 dans un nouveau cycle d'activité de 11 ans, le maximum sera atteint au courant de l'année 1999 (fig. 7).

### Les protubérances solaires

Lorsqu'on observe le Soleil il arrive que l'on voit des superbes «flammes» orner sa surface, ce sont les protubérances solaires. On en distingue fondamentalement deux types: les protubérances stables et les protubérances actives.

Les objets de la première catégorie sont constitués essentiellement de plasma à basse température dont les paramètres physiques sont en moyenne ceux indiqués dans le tableau N° 1. Ce sont des configurations relativement stables avec une durée de vie de quelques mois. Elle sont typiquement sous forme de filaments perpendiculaires à la surface du

Soleil (fig. 8), avec des dimensions de l'ordre de 60 à 600 Mm<sup>4</sup> pour la longueur, de 15 à 100 Mm pour la hauteur et de 4 à 15 Mm pour l'épaisseur. L'analyse en lumière H $\alpha$  montre une structure fine de ces protubérances indiquant un flux continu de matière. Une protubérance stable disparaît soit par dissolution lente, soit brusquement, soit par écoulement dans la chromosphère.

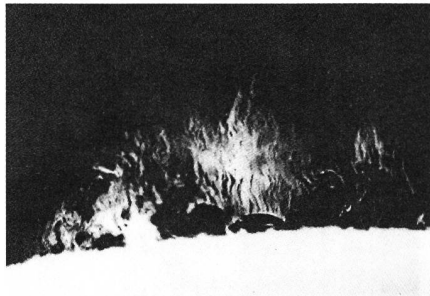


Figure 8: Un protubérance solaire «stable». Le gaz s'écoule vers le haut à une vitesse de 1 km/s.

La deuxième catégorie est constituée d'objets ayant une durées de vie de quelques minutes à quelques heures, un champ magnétique interne intense, environ une centaine de Gauss, et une large fraction de leur masse à haute température. Elles sont constituées par des matériaux éjectés à grande vitesse (jusqu'à 1000 km/s) de la chromosphère (fig. 9).

Nombre d'atomes d'hydrogène	10 <sup>11</sup> cm <sup>-3</sup>
Nombre d'électrons	8 10 <sup>10</sup> cm <sup>-3</sup>
Température électronique	7000° K
Intensité du champ magnétique	5-10 G

Tableau N° 1  
Valeurs moyennes des paramètres physiques du plasma<sup>3</sup> basse température constituant une protubérance stable.

### Le vent solaire

A cause d'une très haute température et d'un faible gradient de température la couronne solaire n'est pas en équilibre hydrostatique, mais elle possède une expansion continue dans l'espace interplanétaire. Il en résulte un flux constant de plasma coronaire vers l'extérieur que l'on nomme le vent solaire. Ce flux est contrôlé par le champ magnétique de la

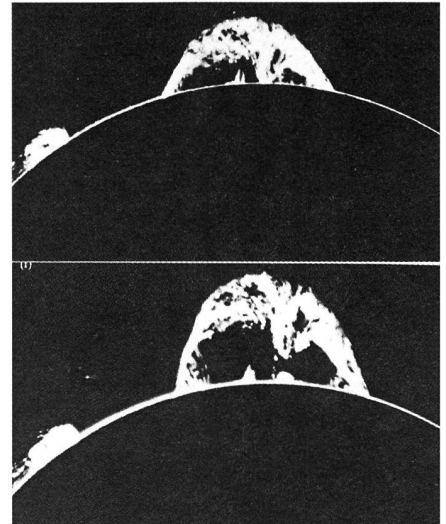
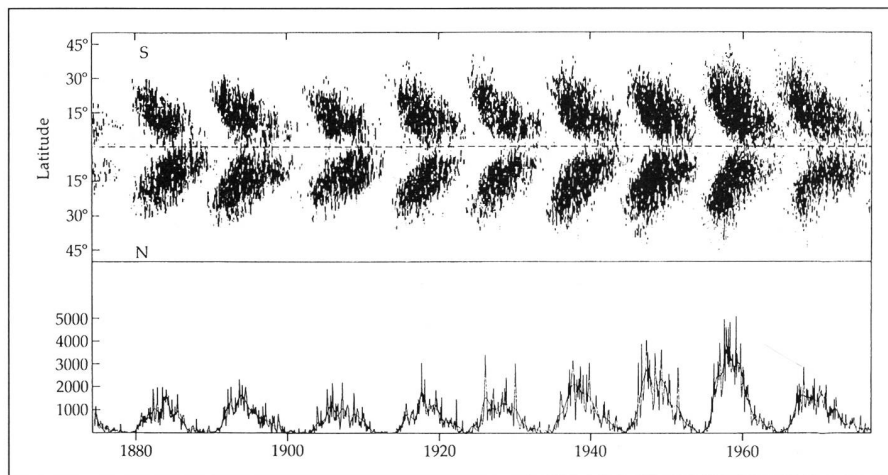


Figure 9: Evolution d'une protubérance solaire; dans l'image inférieure l'extension totale est de 370 000 km et elle s'élève à une vitesse de 160 km/s.

couronne solaire. Le tableau N° 2 donne les caractéristiques physiques du vent solaire au niveau de la Terre. L'extension du vent solaire autour du Soleil définit la héliosphère. Cette limite est caractérisée par le fait que la pression due au vent solaire est contrebalancée par celle de l'espace interstellaire, qui est engendrée par le champ magnétique galactique, les rayons cosmiques et le gaz interstellaire. On situe la limite de l'héliosphère entre 50 et 100 UA.

Figure 7: Distribution et nombre des taches solaires pour les neuf cycles entre 1880 et 1960. On constate que les cycles récents sont plus violents que ceux d'il y a 100 ans. Le diagramme d'en bas montre la fraction de la surface visible du Soleil, exprimée en millionième, occupée par les taches solaires.



<sup>3</sup> Un plasma est un gaz où cohabitent ions et électrons libres. C'est en fait l'état de la matière le plus fréquent dans l'Univers. La transition gaz-plasma se fait à une température qui dépend de la densité du gaz. L'atmosphère terrestre passerait à l'état de plasma à une température d'environ 20 000°K.

<sup>4</sup> Mm = mégamètres = 10<sup>6</sup> mètres



Flux ( $10^8$ ions $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	3.0
Vitesse (km/s)	400
Densité (ions $\text{cm}^{-3}$ )	6.5
Température électronique ( $1000^\circ$ K)	200
Température protonique ( $1000^\circ$ K)	50
Intensité du champ magnétique ( $10^{-5}$ G)	6.0
Abondance en hélium	0.05

Tableau N° 2: Caractéristiques physiques du vent solaire au niveau de la Terre. Les valeurs indiquées sont des valeurs moyennes.

Les lignes de force du champ magnétique solaire sont transportées loin du Soleil par le vent solaire créant ainsi un champ magnétique interplanétaire. L'héliosphère est substantiellement subdivisée en deux parties: l'une ayant les lignes de force du champ magnétique dirigées vers le Soleil, l'autre où les lignes de champ fuient le Soleil. La «surface» de séparation entre ces deux régions est située dans le prolongement de l'équateur solaire et à cause de la rotation du Soleil elle subit une déformation en spirale d'Archimède ondulée.

Les caractéristiques du vent solaire changent en fonction de la distance au Soleil, de la longitude et aussi de la latitude. Certaines de ces variations sont simplement dues au fait de l'expansion du vent solaire dans un volume de plus en plus grand; d'autres sont la conséquence de phénomènes dynamiques à l'intérieur du vent solaire en expansion, et d'autres encore sont dues aux changements des conditions d'émission. Au-delà d'environ 10 AU la composante radiale du champ magnétique interplanétaire et la densité du vent solaire décroissent comme l'inverse de la distance héliocentrique au carré, en correspondance avec le principe de conservation du flux matériel et du nombre de lignes du champ magnétique.

C'est le vent solaire qui est responsable de la queue de plasma d'une comète.

### La sismique solaire

La sphère du Soleil est loin d'être un système fluide au repos. Les mouvements continus qui animent les gaz et plasmas dont il est constitué, produi-

sent des «chocs» qui engendrent des perturbations qui parcourent la totalité du volume solaire. Le Soleil est donc parcouru par un système complexe d'ondes stationnaires et dissipatives. On pense avoir mis en évidence des pulsations de longue période de l'ordre de 300 s et une longueur d'onde de 10000 km environ. Des pulsations de période plus courte, environ 100 s, sont souvent prises en considération comme mécanisme permettant de transporter de l'énergie mécanique non thermique en dehors de la zone convective. Il existe une surveillance en continu de l'activité sismique du Soleil, l'accumulation de telles données représente une aide fondamentale pour la compréhension des mécanismes internes qui animent une étoile comme le Soleil.

### Les éclipses de Soleil

Les éclipses de Soleil sont dues à un double heureux hasard: la dimension apparente de la Lune et du Soleil sont identiques et la faible inclinaison (cinq degrés et huit minutes d'arc) de l'orbite lunaire sur l'écliptique. Cela amène la Lune et le Soleil à occuper, occasionnellement, exactement (éclipse totale) ou approximativement (éclipse partielle) la même position dans le ciel, vu d'un endroit donné. Les éclipses de Soleil sont astronomiquement parlant importantes, en dehors du spectacle et de l'atmosphère impressionnante qu'elles produisent, parce qu'elles permettent l'étude de la cromosphère dont la luminosité est trop faible par rapport à celle du disque solaire pour être visible dans des conditions normales. Il est clair que les astronomes ne pouvaient pas attendre chaque fois une éclipse totale pour étudier la cromosphère<sup>5</sup>. Ils ont inventé un instrument qui permet de produire une «éclipse artificielle», le coronographe; un disque (de dimensions convenables), à l'intérieur de l'instrument, cache le Soleil et permet l'observation de la cromosphère.

### La sonde Ulysse

Cette sonde lancée en 1990<sup>6</sup> a survolé, après avoir utilisé la planète Jupiter comme déflecteur pour pouvoir se met-

tre dans une trajectoire perpendiculaire à l'écliptique, les pôles du Soleil en 1994 et en 1995. Le prochain passage étant prévu pour les années 2000 et 2001. Ulysse a entre autres mis en évidence que le vent solaire émis par les calottes polaires est un vent «stable» à haute vitesse; en moyenne 750 km/s. En opposition aux vents de faible vitesse (~400 km/s) des zones équatoriales et les vents fortement variables des latitudes intermédiaires.

Ce quinzième épisode de «L'Univers, dis moi ce que c'est» met un point final à la partie consacrée aux étoiles. A partir du seizième épisode nous allons entrer dans le domaine des galaxies, de la matière interstellaire et de la structure à grande échelle de l'Univers.

FABIO BARBLAN

17, route de Vireloup,  
CH-1293 Bellevue/GE

fabio.barblan@obs.unige.ch

### Bibliographie

*Secrets of the Sun*, R. G. GIOVANNELLI, Cambridge University Press 1984. [Source des illustrations]

*Physik der Sterne und der Sonne*, H. SCHEFFLER, H. ELSÄSSER, B.I. Wissenschaftsverlag Zürich 1974 - Anker

*The sun*, a introduction M. STIX, Springer Verlag 1989

*Les étoiles*, astrophysique E. SCHATZMAN F. PRADEIRE, InterEditions/Éditions du CRNS 1990

*Initiation à l'astronomie*, A. ACKER, Masson 1979

*La formation des étoiles*, A. BOSS, Pour la Science Mars 1985

*La structure interne du Soleil*, G. BERTHOMIEU, M. CASSÉ, D. VIGNAUD, LA RECHERCHE 231 Avril 1991 Vol. 22

*Le grand atlas de l'astronomie*, Encyclopédie Universalis, Illustrated glossary for solar and solar-terrestrial physics, Editeurs A. Bruzek et C. J. Durrant, D. Reidel Publishing Company, 1977

<sup>5</sup> D'autant plus qu'il faut souvent se déplacer considérablement pour assister à un tel événement. Les éclipses totales n'étant visibles chaque fois que d'une partie limitée de la Terre.

<sup>6</sup> Après une longue préparation de 11 années et une attente de quatre ans à cause de l'accident tragique de la navette *Challenger*.

## AN- UND VERKAUF / ACHAT ET VENTE

#### • Zu Verkaufen:

Apochromat **Vixen FL 102S**, Baader 2" Zenitprisma, 2" Nagler Wide-Field + 2 weitere Nagler 2"/1 1/4" Okulare, SP DX Montierung mit elektr. Dualaxis-Steuergerät, Sonnenfilter, Kameraadapter. Neu-Preis: ca. Fr. 8500.-. Verkaufs-Preis: Fr. 2800.-. Hr. Urech, Tel. Privat: 01/940 32 13. Geschäft: 01/945 26 26.

#### • Zu Verkaufen:

**Vixen Telescope-Refraktor**, Rohrlänge 1,20 m. Optik 1300 mm Brennweite. 90iger Refraktor mit 2 Rohrschellen mit Zenitspiegel. Fr. 3000.-. **Astronomie Telescops Meade** Schmid-Cassegrain mit Superwiege u. Sucher, Optik 25 cm F/6:3 mit runder Metall-Kuppel u. drehbaren Dach zum Öffnen. Fr. 3000.-. **1 Theodolit DTS Sorhikisa** Astronomisches Winkelmessgerät. Fr. 5000.-. M. Reusser, Trottenstrasse 15, 5608 Ennetbaden.

#### • A vendre:

Superbe lunette apochromatique **Zeiss APQ 100/1000** avec monture 1B et colonne avec cloche. Accessoires Zeiss: binoculaire, filtre solaire, divers oculaires, etc. Instrument ayant été très peu utilisé. Etat de neuf. Prix d'achat pour le tout, environ Fr. 15 000.-. Cédé au prix très attractif de Fr. 6500.- à discuter. Tél. 021/320 34 04.