

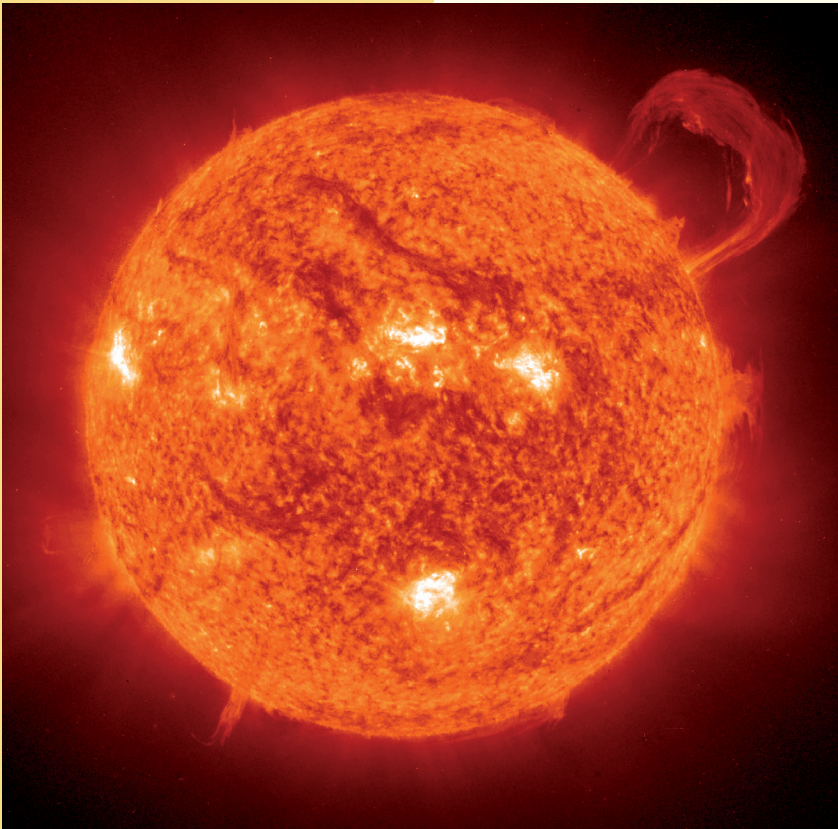


**CHAPITRE 4**

**La surveillance du Soleil**



*Le Soleil et ses protubérances*  
© NASA/JPL-Caltech



## POURQUOI SURVEILLER LE SOLEIL?

**P**RINCIPALE SOURCE de chaleur et de lumière pour l'ensemble du système dont il est le centre, le Soleil dispense la vie sur Terre. C'est là ce que nous savons tous. Mais un fait dont nous sommes en général moins

conscients est que cette étoile émet également des flux de particules, que le champ magnétique terrestre n'éloigne que partiellement de nous. Ces flux sont souvent dommageables pour certaines installations de télécommunications sur Terre, et même mortels pour les astronautes en orbite. L'étude du Soleil depuis plusieurs dizaines d'années, et aujourd'hui sa surveillance quotidienne, nous permettent alors de nous garantir contre certains risques.

## UN PEU D'HISTOIRE...

EN FRANCE, l'intérêt pour les observations du Soleil remonte à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Les progrès considérables réalisés par les physiciens et mathématiciens de l'époque ouvrirent la voie, aux alentours de 1875, à une étude de la physique des astres, autrement dit à la description de leur composition chimique, leur formation, leur évolution, etc. Telle était la vocation du nouvel observatoire « d'astronomie physique » de Meudon fondé en 1876 par Jules Janssen. Cette science nouvelle, que l'on nomme aujourd'hui plus simplement « astrophysique », est ainsi venue compléter l'astronomie de position et la mécanique céleste, qui depuis 200 ans étaient reines à l'Observatoire de Paris.

L'observatoire de Meudon s'intéresse plus particulièrement au Soleil sous l'angle de la spectroscopie et de la photographie, deux techniques alors naissantes qui ont révolutionné l'astronomie. La spectroscopie permet d'étudier les interactions entre la matière et le rayonnement dans les atmosphères stellaires, en interprétant les **raies spectrales atomiques\***. Quant à la photographie, elle permet de conserver un résultat objectif de l'observation, contrairement au dessin couramment pratiqué jusqu'alors, qui ne laissait évidemment transparaître que ce que l'observateur retenait pour lui-même.



*L'observatoire de Meudon  
© Observatoire de Paris*

### Raies spectrales atomiques

Une raie spectrale est une bande étroite sombre ou lumineuse qui apparaît dans la décomposition de la lumière d'un astre obtenue par dispersion à l'aide d'un prisme ou d'un réseau de diffraction. Les raies spectrales sont le résultat de l'interaction entre un système dont les niveaux d'énergie sont quantifiés (c'est-à-dire « qui ne peuvent prendre que des valeurs discrètes ») et le rayonnement électromagnétique (lumière). Dans l'atmosphère solaire, les raies spectrales sont la signature des atomes (et de quelques molécules) qu'on y trouve à l'état gazeux : Hydrogène à 90%, Hélium à 10%, et un grand nombre d'éléments en trace comme le Calcium, le Fer, le Magnésium, le Sodium, etc.

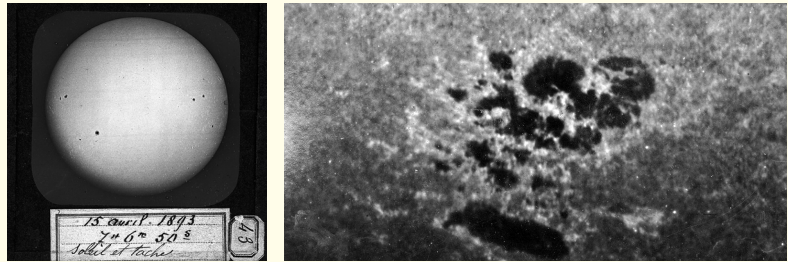
### Limbe

Bord d'un astre

### Raie d'absorption

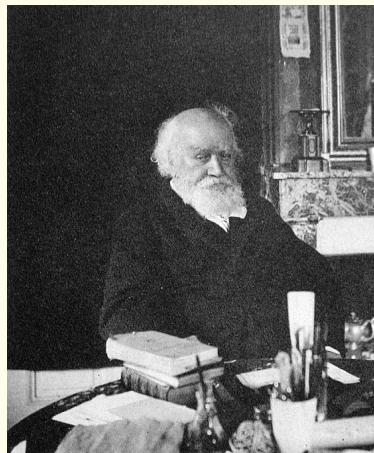
Le rayonnement du Soleil est constitué d'un spectre continu (les couleurs de l'arc en ciel) qui est proche du rayonnement d'un corps noir porté à la température de 5750 K. Les éléments présents dans son atmosphère (photosphère, chromosphère) se signalent dans le spectre solaire sous la forme de raies sombres, dites d'**absorption**, parce que la matière absorbe à des longueurs d'onde très précises le rayonnement incident, qui provoque un « saut quantique » vers un niveau d'énergie plus élevé de l'atome. Lorsque l'on regarde les protubérances au dessus du limbe solaire, c'est-à-dire sur le fond de ciel noir, le phénomène inverse se produit : les atomes d'Hydrogène, dont sont constituées majoritairement les protubérances, se signalent par des raies brillantes sur fond noir, dites d'**émission**, parce que l'atome émet de la lumière, conséquence d'un « saut quantique » vers un niveau d'énergie plus bas.

Janssen se passionnait pour l'imagerie de la surface du Soleil, et notamment la granulation. Il effectuait également de nombreuses missions d'observations d'éclipses totales. Par la spectroscopie, il a découvert la présence d'hélium dans l'atmosphère solaire. Il a ensuite démontré la possibilité d'observer les protubérances au **limbe\*** en dehors des éclipses, simplement par les moyens de la spectroscopie. Ces travaux précurseurs sont fondamentaux.

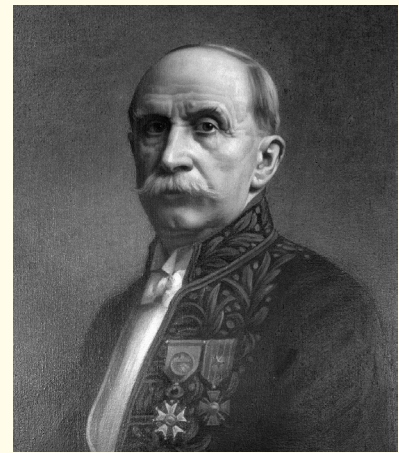


Clichés pris par Jules Janssen fin XIX<sup>e</sup> siècle à Meudon avec la lunette d'imagerie solaire.  
À gauche, le soleil montre ses taches. À droite, une observation du détail des taches.  
© Observatoire de Paris

Grâce à eux, Henri Deslandres, le successeur de Janssen, mettra au point au cours de la première décennie du XX<sup>e</sup> siècle le spectrohéliographe, spectrographe qui permet d'observer la surface du Soleil, dans un intervalle spectral extrêmement étroit et centré sur une **raie d'absorption\***.



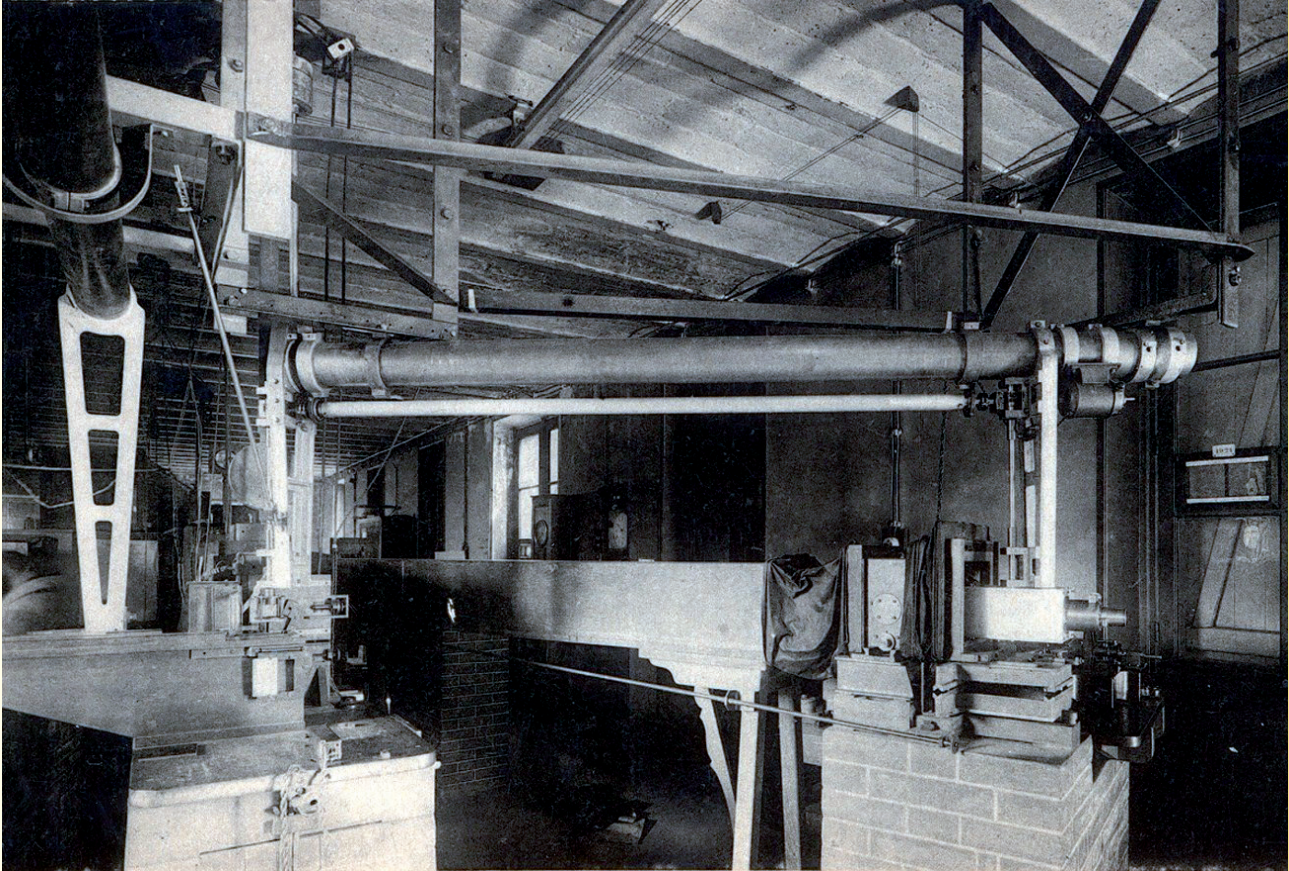
Jules Janssen (1824-1907)  
© Observatoire de Paris



Henri Deslandres (1853-1948)  
© Observatoire de Paris



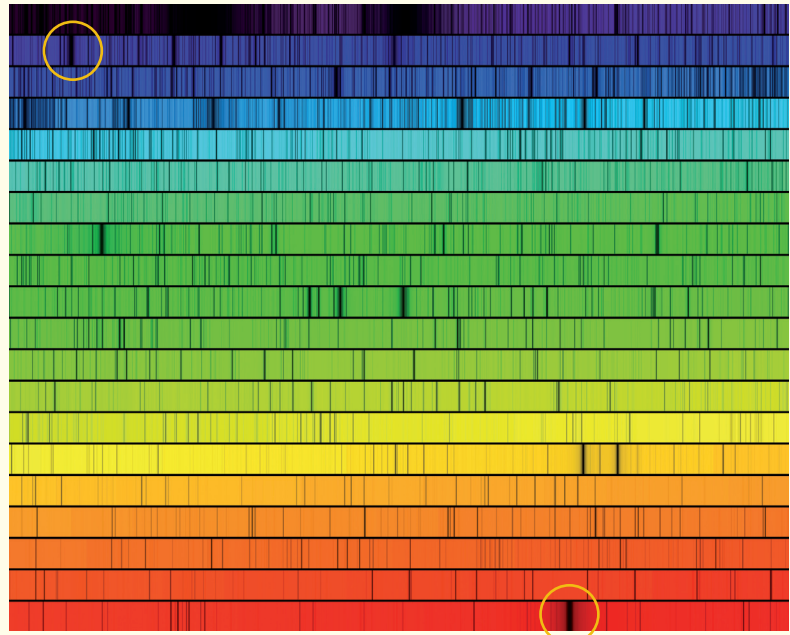
À partir de 1909, il y a donc 100 ans, les observations systématiques de la surface du disque solaire ont commencé à Meudon et perdurent encore aujourd'hui. Aux États-Unis, George Hale eut une idée similaire à celle de Janssen. C'est ainsi que, de l'autre côté de l'océan Atlantique, on a pu voir s'épanouir une activité complémentaire à celle entreprise à Meudon.



Seules les deux guerres mondiales perturberont les observations à Meudon. La qualité, la régularité et l'homogénéité des images produites à l'observatoire lui ont forgé, au fil du temps, une réputation aujourd'hui internationale. C'est également l'unique établissement à disposer d'une collection continue de neuf cycles solaires.

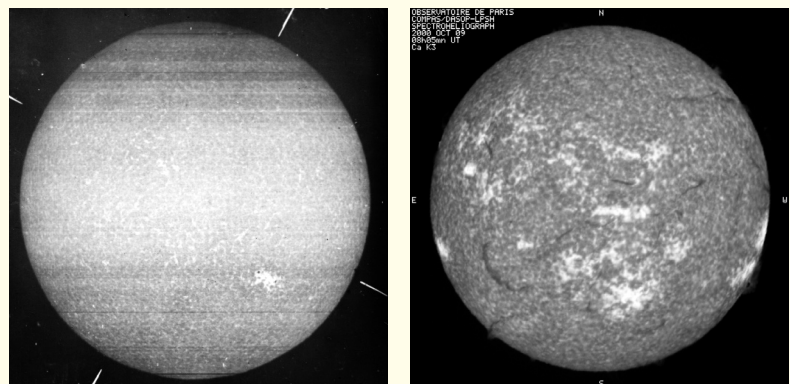
*Le spectrohéliographe de Deslandres au début du xx<sup>e</sup> siècle à Meudon  
© Observatoire de Paris*

Le spectre solaire constitue l'outil de diagnostic qui permet aux astronomes d'imager les différentes couches de l'atmosphère solaire. Dans le rouge (en bas à droite), la raie H $\alpha$  (656,3 nm) est universellement utilisée pour la chromosphère. Dans le bleu (en haut à gauche), la raie K de CaII (393,4 nm) fournit une autre vision de la chromosphère. Il y a des milliers de raies disponibles, chacune caractéristique d'une transition entre 2 niveaux d'un atome particulier.  
 © Observatoire de Paris, d'après l'atlas du Jungfraujoch (L. Delbouille)



Il y a évidemment peu de ressemblance entre le spectrohéliographe de Deslandres et celui qui est utilisé aujourd'hui, en raison des progrès technologiques qui ont apporté des améliorations successives à cet instrument. Néanmoins, le principe et les caractéristiques instrumentales ont toujours été conservés afin de ne pas altérer l'exceptionnelle collection.

Un siècle d'observations au spectrohéliographe sépare ces images de la chromosphère solaire, qui révèlent des régions actives et des filaments sombres dans la raie CaII K, les 9 octobre 1900 (à gauche) et 9 octobre 2000 (à droite).  
 © Observatoire de Paris





## COMPOSITION ET ACTIVITÉ DU SOLEIL

### COMPOSITION

EN RAISON de sa proximité avec la Terre, le Soleil est la seule étoile du ciel dont on peut observer les détails de la surface. Ainsi, même si le diamètre du Soleil est d'environ 1 400 000 km, les plus petits détails visibles dans les meilleurs télescopes mesurent 100 km (ou 0,15 seconde de degré en valeur angulaire). Mais il ne s'agit là que d'observations de haute résolution, lesquelles ne constituent pas la préoccupation essentielle des observations journalières du Soleil. En effet, ces dernières concernent en réalité le disque solaire dans sa totalité, avec une précision moindre de l'ordre de 1 000 km.

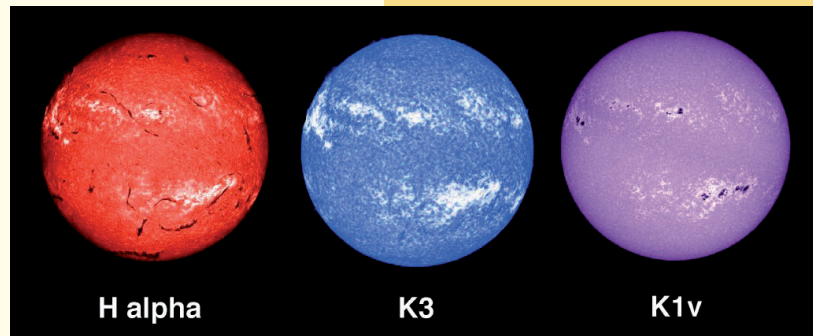
Pourquoi observe-t-on le Soleil régulièrement ? La surface du Soleil est en fait en perpétuelle évolution, sur de courtes échelles de temps, pouvant varier de l'heure (cas des éruptions solaires) au mois (durée de vie des filaments solaires et des taches). L'évolution des structures se présente d'un jour à l'autre de manière différente, car la rotation de l'étoile sur elle-même n'est pas uniforme. En effet, alors que la rotation du Soleil est de 31 jours aux pôles, celle-ci n'est en réalité que de 26 jours à l'équateur. En raison de sa fluidité, le Soleil ne tourne donc pas comme un corps solide et ses structures se déforment.

L'atmosphère du Soleil comprend la photosphère (surface visible de 500 km d'épaisseur), la chromosphère (2 000 km d'épaisseur), puis la cou-



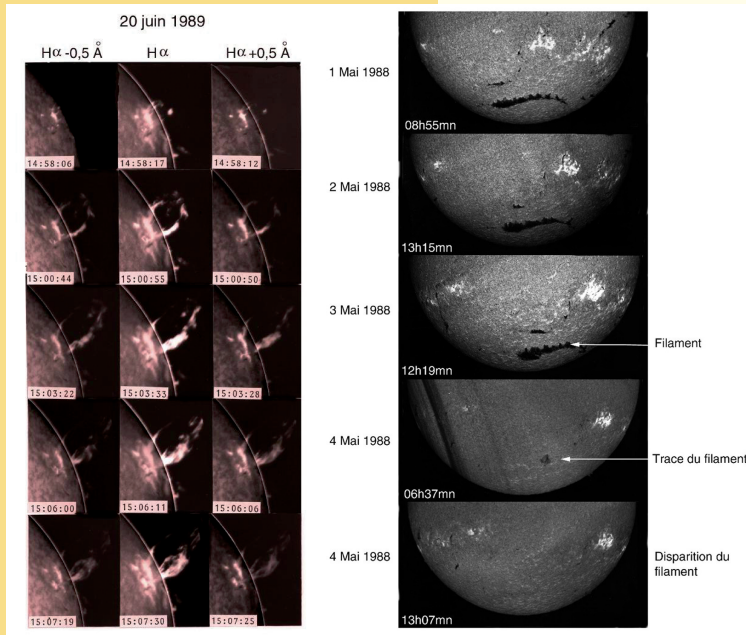
Les filaments (qui apparaissent en protubérances aux bords solaires) sont constitués de matière dense de type chromosphérique (8 000 degrés) en suspension dans la couronne 100 fois plus chaude sous l'influence de champs magnétiques qui les soutiennent contre la gravité.

© Observatoire de Paris



Trois visions de l'atmosphère solaire. À gauche, la chromosphère et ses filaments dans la raie H $\alpha$  de l'Hydrogène. Au centre, d'autres structures chromosphériques comme les facules apparaissent au cœur de la raie K du CaII. À droite, la photosphère et ses taches dans l'aile de la raie K du CaII (les couleurs sont artificielles).

© Observatoire de Paris

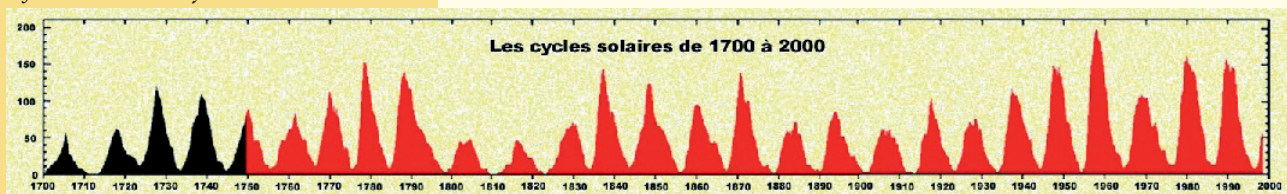


Le Soleil est dynamique et évolue en permanence. À gauche, une éruption qui se développe en quelques minutes. À droite, la déstabilisation d'un filament, plus lente, s'étale sur quelques heures.

© Observatoire de Paris

Les cycles solaires (nombre de taches) de 1700 à 2000

© Observatoire royal de Belgique, Solar Influences Data Analysis Center



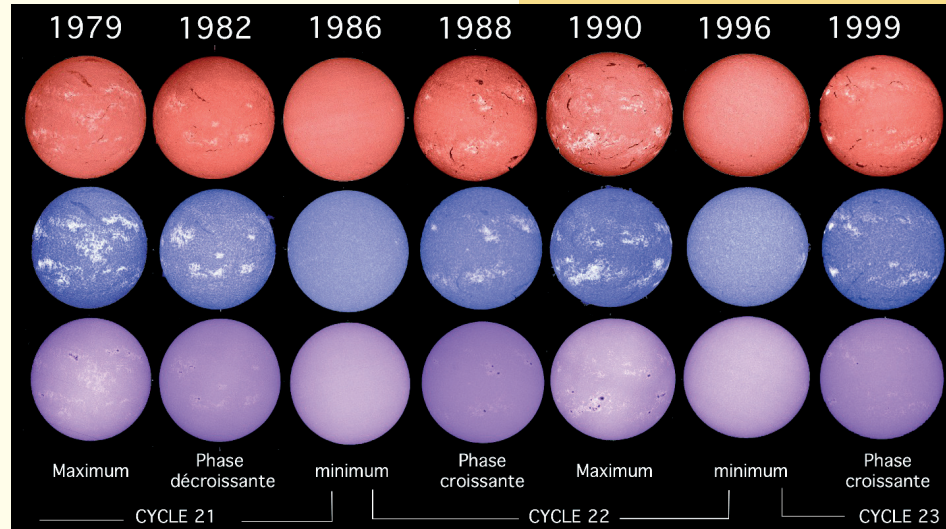
ronne (plusieurs millions de kilomètres d'épaisseur), 100 fois plus chaude, qui relie l'étoile au milieu interplanétaire et émet un flux de particules appelé « vent solaire ». La surface solaire observable du sol avec des instruments d'optique est constituée de la photosphère et de la chromosphère. La photosphère, qui révèle les taches, atteint 5 700 degrés de température. La chromosphère, au-dessus, montre les filaments et les protubérances ; elle est un peu plus chaude, sa température avoisine 8 000 degrés. Pour sonder ces deux couches, il faut utiliser des moyens spectroscopiques, c'est-à-dire qu'il faut se concentrer sur l'étude de raies atomiques formées dans les conditions de température et de densité qui sont celles de l'intérieur de ces couches. La structure interne du Soleil sous la photosphère n'est en revanche pas observable.

La couronne ne se prête pas bien à l'observation terrestre, hormis pendant les éclipses, car elle est un million de fois moins lumineuse que le disque solaire. On utilise donc le plus souvent des télescopes spatiaux pour l'observer, parce qu'ils ne sont pas gênés par l'atmosphère terrestre qui diffuse la lumière et éblouit les instruments. La couronne solaire, couche très ténue située au-dessus de la chromosphère, n'est observable du sol en dehors des éclipses qu'en ondes radioélectriques, ou hors atmosphère, sur orbite terrestre, en ultraviolet et rayons X.

La station de radioastronomie de Nançay, rattachée à l'Observatoire de Paris, réalise quotidiennement des observations de la couronne solaire en



ondes métriques avec le radio-héliographe. Depuis l'espace, l'instrument SOHO (Solar and Heliospheric Observatory) conçu par l'ESA (Agence spatiale européenne) et par la NASA, envoie au sol depuis 12 ans des images quotidiennes et inédites de la couronne solaire en extrême ultraviolet dans un domaine de température allant de 80 000 degrés à 2 millions de degrés. À ces données s'ajoutent des magnéto-grammes (cartographies des champs magnétiques solaires projetés le long de la ligne de visée), et des coronogrammes en lumière blanche, qui montrent les structures de la couronne à grande distance de la surface solaire.



*Cycles solaires sur une période de 11 ans (1979-1999) observés dans trois domaines spectraux différents de la chromosphère (deux rangées du haut) et de la photosphère (rangée du bas). Est à noter l'absence de structures sur la surface aux minima solaires, en 1986 et 1996 (les couleurs sont artificielles).  
© Observatoire de Paris*

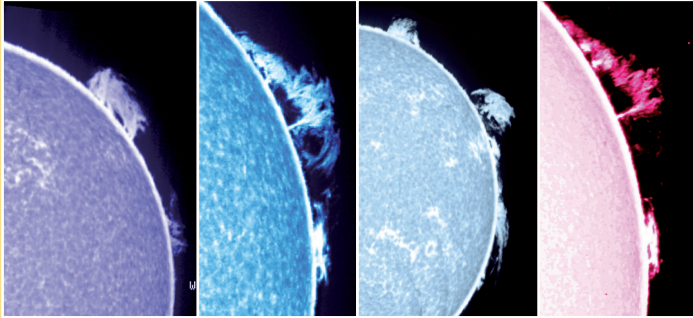
### ACTIVITÉ

En observant les taches de la photosphère, les astronomes ont rapidement constaté le caractère cyclique de la surface tachée en fonction du temps. Le nombre de taches évolue avec un cycle moyen de 11 ans, lequel correspond en réalité à une cyclicité magnétique de 22 ans, car la polarité magnétique des deux hémisphères Nord et Sud du Soleil se renverse tous les 11 ans.

L'intensité des cycles est alors variable. Il y a des cycles forts (plus de taches) et des cycles faibles (moins de taches). On soupçonne même une seconde période voisine de 80 ans dans la modulation des cycles. Le passé a ainsi connu des cycles très peu actifs, comme le **Minimum de Maunder\*** à l'époque de Louis XIV, corrélé à une période climatique froide dite du « petit âge glaciaire ». Mais pour le moment, l'influence réelle des cycles solaires sur le climat terrestre reste à déterminer, et constitue encore à l'heure actuelle un sujet de recherches débattu.

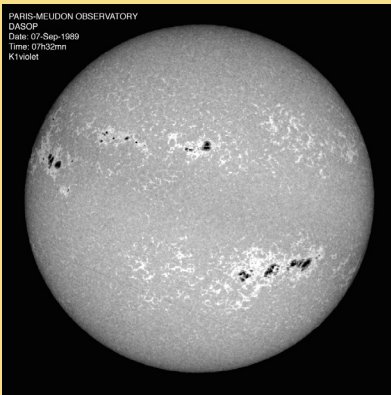
### Minimum de Maunder

(de l'astronome anglais E.W. Maunder)  
Désigne une période approximative (1645-1715) pendant laquelle le Soleil eut une activité manifestement amoindrie (observée par le faible nombre de taches), provoquant ainsi une réduction du champ magnétique et de toutes les formes d'activité associées. Certains minima, moins profonds, ont été observés plus récemment ; d'autres, plus anciens, ont été détectés indirectement par la mesure de la concentration d'isotopes cosmogéniques, comme le Carbone 14 et le Béryllium 10, que l'on retrouve en plus grande proportion dans les carottes glaciaires, les anneaux de croissance des arbres ou encore les coraux en période de minimum d'activité solaire.



Les protubérances au-dessus de la chromosphère peuvent atteindre 100 000 km de hauteur, et se déstabiliser, provoquant ainsi une éjection de masse coronale qui peut se diriger vers la Terre (les couleurs sont artificielles).

© Observatoire de Paris



Les taches sont des régions de champs magnétiques intenses (0,1 Tesla) qui émergent de la surface solaire. Elles sont entourées de zones brillantes plus chaudes, appelées « facules », où les champs magnétiques sont également présents. La surface tachée suit un cycle de 11 ans : c'est le cycle d'activité solaire avec ses maxima qui donnent naissance à une recrudescence des phénomènes dynamiques et éruptifs. La dimension d'une tache est comparable à celle de la Terre.

© Observatoire de Paris

Lors des maxima d'activité solaire (1990, 2001, 2012, etc.), il n'est pas rare d'assister à des phénomènes éruptifs rapides et violents dans l'environnement des centres actifs (les taches), là où existe une forte concentration d'énergie sous forme magnétique. Lors de ces phénomènes, l'énergie magnétique est convertie en énergie cinétique (mouvement) et en chaleur (phénomènes des éjections de masse coronale et des éruptions). Les éruptions et éjections déchargent

dans le milieu interplanétaire une grande quantité de matière sous forme d'électrons et de protons accélérés. Lorsque ces particules parviennent à la Terre, elles peuvent générer un certain nombre de nuisances, telles une perturbation des télécommunications se réfléchissant sur l'ionosphère, une dégradation des engins spatiaux et des satellites artificiels, des pannes électriques résultant de phénomènes inductifs dans les lignes électriques, etc. À ces désagréments déjà observés dans le passé, qui justifient à eux seuls une activité de surveillance et de prédiction de l'activité solaire (nouvelle discipline appelée « météorologie spatiale »), s'ajoutent des événements d'une rare beauté comme les aurores boréales étudiées par les géophysiciens.

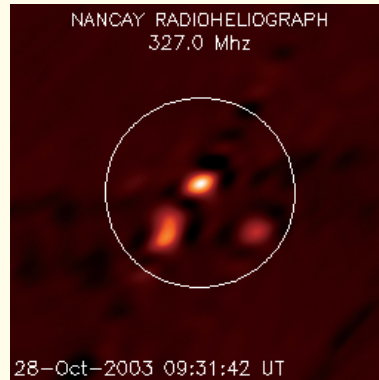
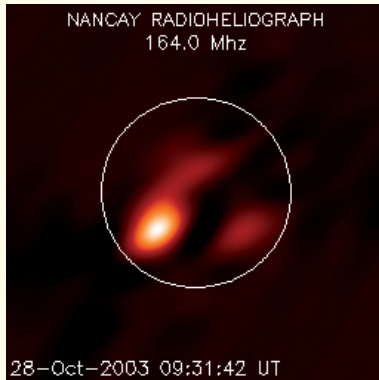
### INTÉRÊT SCIENTIFIQUE

On comprend mieux, à la lumière de cette présentation des phénomènes actifs solaires, l'intérêt d'un service tel que celui des observations solaires de Meudon. Ses objectifs sont multiples, relevant aussi bien de la recherche fondamentale en physique et astrophysique, que de l'application de ces sciences. L'observatoire contribue en effet à la recherche en physique solaire par l'apport de données de grand champ, c'est-à-dire du Soleil entier, à la prévision de l'activité et à la surveillance solaire dans le cadre de la météorologie spatiale.

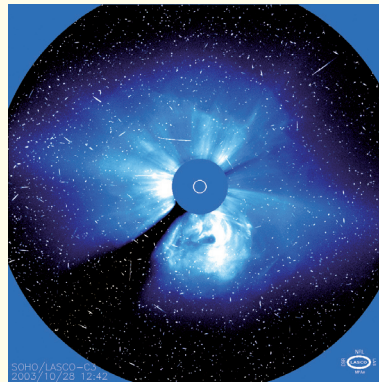
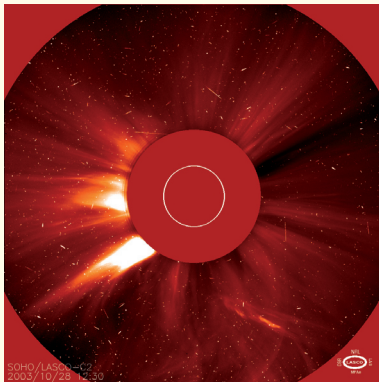
Ces missions lui imposent d'être opérationnel tout au long de l'année. Malgré une météorologie peu favorable en région parisienne, on compte près de 280 jours d'observation au spectrohéliographe par an, les clichés étant très souvent réalisés entre deux nuages. Aujourd'hui entièrement numérique, la production du service est depuis 1996 mise à la disposi-



tion de la communauté internationale en temps réel, au moyen de la base de données appelée BASS2000 (Base de données solaire sol).



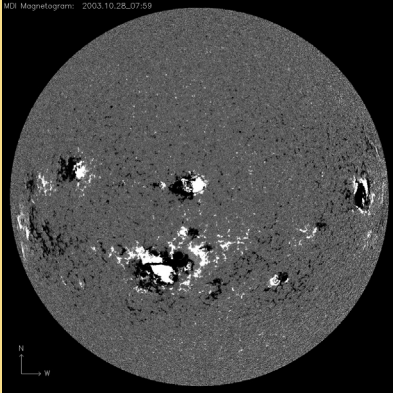
*En ondes radioélectriques, on détecte le rayonnement des particules accélérées dans la couronne solaire (radiohéliographe de Nançay, ondes métriques).  
© Observatoire de Paris*



*Les coronographes de SOHO, en lumière blanche, révèlent la couronne solaire à moyenne et grande distance (instrument LASCO/SOHO). Le disque du Soleil est représenté par le cercle blanc et masqué par une « Lune artificielle ».  
© SOHO-ESA/NASA*

Des campagnes spécifiques d'observation sol/espace, sur programme scientifique sélectionné (les JOPS ou « Joint Observing Programs »), impliquent régulièrement des chercheurs de la communauté française sur les télescopes au sol, tels THEMIS aux Canaries, ou spatiaux, tels SOHO, RHESSI, TRACE ou encore SOLAR B/HINODE. Lors de telles campagnes, le service est en alerte et les observations sont intensifiées.

Chacun peut consulter la base de données, aussi bien le grand public curieux du ciel que les astronomes amateurs et professionnels. Même si ce sont essentiellement les chercheurs en physique du Soleil et les prévi-



L'effet Zeeman sur les raies spectrales permet de mesurer les champs magnétiques dans la photosphère du Soleil qui sont à l'origine de l'activité de l'étoile (Raie NiI, MDI/SOHO).

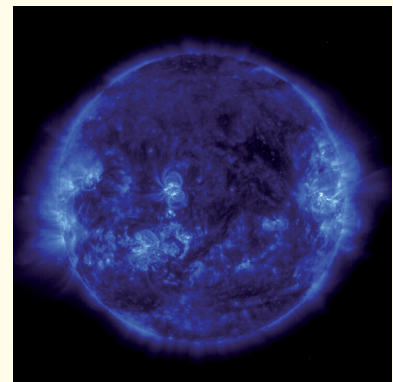
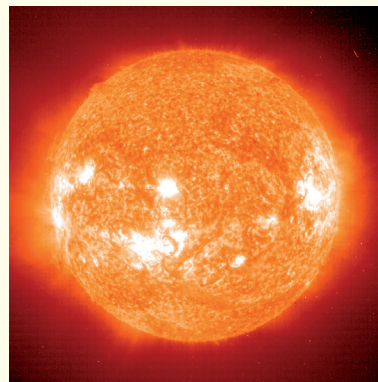
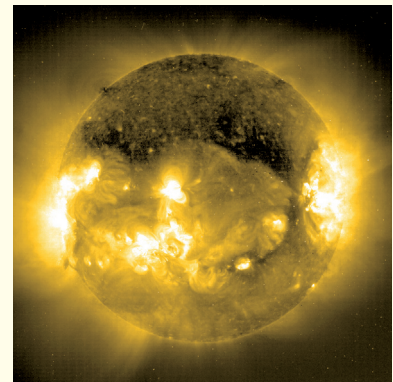
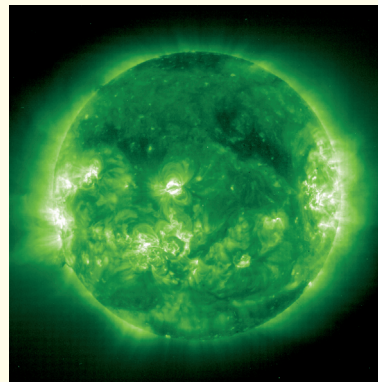
© SOHO-ESA/NASA

En ultraviolet, domaine réservé aux instruments en orbite, la basse couronne apparaît dans les températures de 80 000 à plus de 2 millions de degrés (EIT/SOHO, couleurs artificielles).

© SOHO-ESA/NASA

sionnistes de météorologie spatiale qui sont visés, tout citoyen intrigué par les phénomènes solaires est le bienvenu sur cette base de données. Un site spécialement dédié au grand public a d'ailleurs été mis en place. Les adresses à ne pas manquer sont les suivantes :

- Le site Web des observateurs solaires, orienté *grand public* : <http://solaire.obspm.fr>
- BASS2000, orienté *professionnel* : <http://bass2000.obspm.fr>, complété par un serveur FTP anonyme (<ftp://ftpbass2000.obspm.fr>)
- Le serveur du **réseau mondial H $\alpha$**  (dont la France fait partie avec les États-Unis, la Chine, l'Italie et l'Autriche), situé au Big Bear Solar Observatory (États-Unis) : <http://www.bbso.njit.edu/Research/Halpha/index.html>



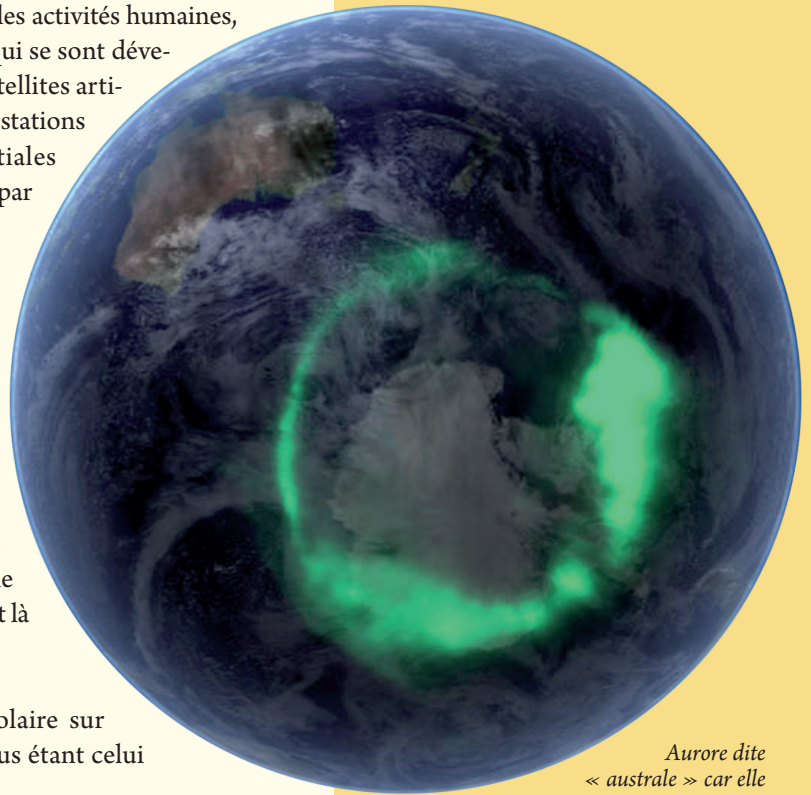


## LES EFFETS DE L'ACTIVITÉ SOLAIRE SUR TERRE

L'ÉTUDE ET LA PRÉVISION des effets de l'activité solaire sur l'environnement terrestre, ainsi que ses impacts sur les activités humaines, constituent des préoccupations assez récentes qui se sont développées avec l'ère de la technologie spatiale (satellites artificiels d'observation ou de télécommunication, stations spatiales, vols habités). Ainsi, les agences spatiales nécessitent des prévisions fiables lorsqu'il s'agit, par exemple, de procéder au lancement d'une fusée.

Ce sont en réalité les particules énergétiques accélérées par les éruptions solaires, ou encore les éjections de masse coronale, qui sont à l'origine des effets terrestres de l'activité solaire. Ceux-ci sont beaucoup plus dangereux en orbite qu'au sol, parce que l'atmosphère terrestre n'y exerce aucune protection. Par conséquent, afin de prévenir les méfaits de l'activité solaire, il s'avère nécessaire d'observer quotidiennement le Soleil, et de tenter de prévoir son évolution. C'est là une des activités majeures menées à Meudon.

Voici quelques-uns des effets de l'activité solaire sur l'environnement terrestre, le plus connu de tous étant celui des aurores boréales ou australes.



*Aurore dite  
« australe » car elle  
se situe dans l'hémisphère Sud.  
© NASA*

### **Bouclier magnétique ou « magnétosphère »**

La magnétosphère, créée par le champ magnétique terrestre, joue un rôle essentiel dans le développement de la vie sur Terre, en déviant les particules mortelles du vent solaire et des rayons cosmiques, formant ainsi un des plus magnifiques phénomènes naturels : les aurores polaires.

*Aurore dite « boréale » car elle se situe dans l'hémisphère Nord.*  
© US Air Force

### **LES AURORES POLAIRES**

Les aurores polaires sont un phénomène purement naturel qui se produit dans les régions de haute latitude, là où le **bouclier magnétique\*** de la Terre comporte quelques faiblesses. Parmi ces régions, celles où les aurores sont le plus souvent vues avec la plus grande intensité sont appelées « zones aurorales », ou encore « arcs circumpolaires ». Les aurores se produisent dans l'atmosphère dans un intervalle de 80 km à 1 000 km d'altitude. C'est pourquoi les meilleures vues d'ensemble de la forme ovale caractéristique autour des pôles magnétiques sont celles prises en orbite par satellite. Au sol, les aurores donnent à voir un spectacle exceptionnel d'immenses draperies flottantes et colorées. Ces émissions lumineuses sont en fait dues à l'excitation, par les particules solaires, des atomes et des molécules, notamment d'azote (émission violette ou bleue), et d'oxygène (émission jaune vert ou rouge selon l'altitude).





Il est également possible d'observer ce phénomène des aurores sur d'autres planètes que la Terre. Les astronomes ont ainsi localisé des arcs auroraux sur Mars, Jupiter, Saturne et Uranus.

### **LA DÉGRADATION DES SATELLITES ARTIFICIELS**

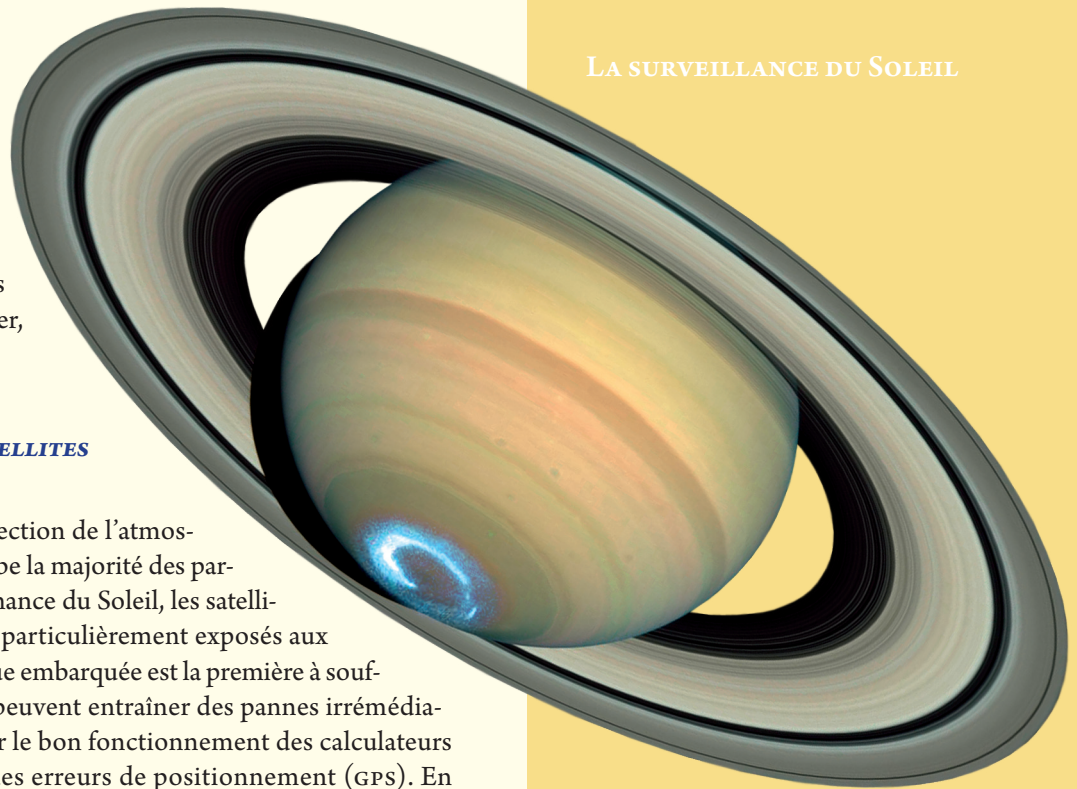
Ne bénéficiant d'aucune protection de l'atmosphère terrestre, laquelle absorbe la majorité des particules énergétiques en provenance du Soleil, les satellites et vaisseaux spatiaux sont particulièrement exposés aux sursauts solaires. L'électronique embarquée est la première à souffrir de ces perturbations qui peuvent entraîner des pannes irrémédiables, et par conséquent altérer le bon fonctionnement des calculateurs de bord, ou encore induire des erreurs de positionnement (GPS). En outre, les particules solaires accélèrent nettement l'érosion des panneaux solaires qui alimentent les satellites en électricité.

### **L'IRRADIATION DES PERSONNELS NAVIGANTS**

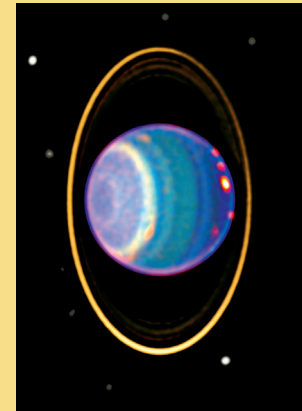
Les rayonnements consécutifs à un accroissement de l'activité solaire sont potentiellement dangereux pour la vie des astronautes lors de sorties dans l'espace. Ils peuvent également avoir un impact sur les personnels navigants des vols aériens commerciaux dans les zones polaires. C'est pourquoi la dose reçue par ces personnels est régulièrement contrôlée (système SIEVERT).

### **LES PHÉNOMÈNES INDUCTIFS DANS LES LIGNES À HAUTE TENSION**

Au sol, lors d'éruptions solaires particulièrement violentes, il se peut qu'apparaissent des courants induits dans les lignes à haute tension, au niveau des régions de haute latitude. Cela peut alors endommager les



*Arcs auroraux sur Saturne.*  
© NASA



*Arcs auroraux sur Uranus.*  
© Erich Karkoschka  
(University of Arizona) and NASA

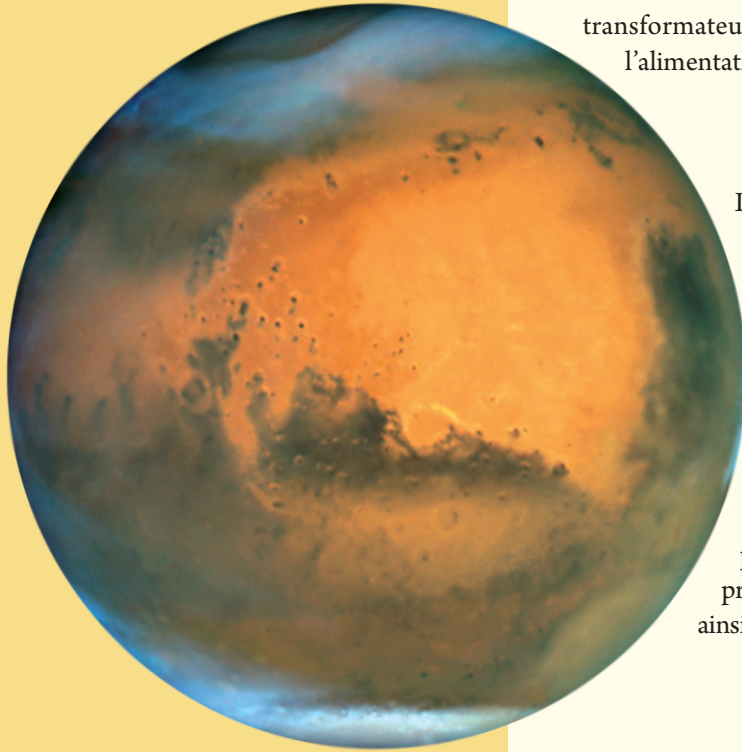
transformateurs des usines électriques et provoquer des coupures de l'alimentation électrique.

#### **LA CORROSION DES PIPELINES**

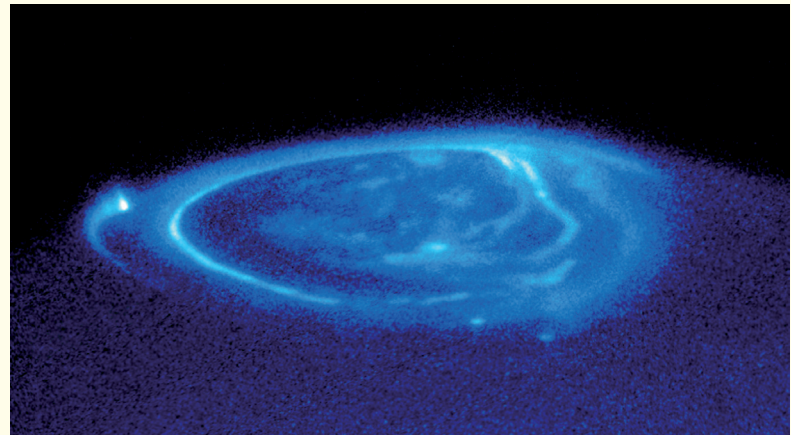
La corrosion est accélérée par l'apparition de courants électriques qui se propagent entre les tuyaux métalliques et le sol, ce qui nécessite la mise en place de protections cathodiques spéciales.

#### **LES PERTURBATIONS DES COMMUNICATIONS RADIO**

Certaines communications radio intercontinentales (ondes courtes) utilisent la propriété de réflexion des ondes sur l'ionosphère, région ionisée de la haute atmosphère terrestre. Sous l'influence de l'activité solaire, les propriétés réfléchissantes de l'ionosphère varient et peuvent ainsi provoquer une perturbation de la propagation des ondes.



*Arcs auroraux sur Mars*  
© NASA, ESA, and The Hubble Heritage Team (STSC/AURA)



*Arcs auroraux sur Jupiter*  
© NASA, ESA, John Clarke (University of Michigan)



## ∞ ANNEXE ∞

### Les instruments du service de surveillance solaire

Les observations du service sont caractérisées par leur champ (le disque solaire entier) et se font en plusieurs longueurs d'onde de manière à explorer les couches de l'atmosphère solaire visibles du sol en optique (Meudon) et en radio (Nançay).

Le spectrohéliographe est une lunette fixe (250 mm d'ouverture pour 4 m de focale) alimentée par un système à deux miroirs mobiles appelé « coélostat » qui suit le Soleil dans son mouvement. La lunette alimente un petit spectrographe de 1 m de distance focale, qui fournit par décomposition spectrale plusieurs séries d'images par jour du disque en  $H\alpha$  656,3 nm (Hydrogène neutre),  $K_3$  (centre raie de CaII K 393,4 nm), et  $K_{iv}$  (aile violette de la raie du Calcium). Les images du disque sont complétées par des clichés longue pose en  $K_3$  et en  $H\alpha$  pour les protubérances au limbe. On a ainsi une vue synthétique de la photosphère, chromosphère et protubérances. Les images monochromatiques résultent du balayage de la surface solaire par la fente d'entrée du spectrographe. Ce sont des cubes de données (la troisième dimension étant spectrale) qui sont enregistrés pour chaque raie, avec une résolution spatiale voisine de 2 secondes de degré et spectrale de 0,025 nm pour  $H\alpha$  et 0,015 nm pour CaII K. Les données passent sur BASS2000 en temps réel et sont présentées au public sur le site Web des observateurs (adresses ci dessus). On estime que cet instrument a produit plus de cent mille images en près d'un siècle d'observations. Au sens temporel, ces observations appartiennent à la catégorie des grands relevés astronomiques.

L'héliographe est constitué d'un ensemble de plusieurs petites lunettes sur la même monture équatoriale dédiée à la surveillance des éruptions solaires, et pour cela bénéficie d'une excellente résolution temporelle atteignant plusieurs images par minute. Il fonctionne depuis un demi siècle, et a été modernisé à plusieurs reprises. L'héliographe est spécialisé en



*Le coélostat de Meudon dirige le faisceau de lumière solaire vers le laboratoire où il est analysé par le spectrohéliographe.  
© Observatoire de Paris*



*La monture équatoriale de l'héliographe de Meudon supporte plusieurs lunettes.  
© Observatoire de Paris*

imagerie pure : il fournit des images de meilleure résolution spatiale que le spectrohéliographe, mais en contrepartie dans une bande spectrale plus large. Plusieurs voies d'imagerie pure sont actuellement opérationnelles :

- la voie chromosphérique CaII H 396,8 nm, de bande passante 0,15 nm ;
- la voie chromosphérique CaII K 393,4 nm, de bande passante 0,15 nm ;
- la voie photosphérique dans la bande CH à 430 nm, de bande passante 0,8 nm ;
- la voie chromosphérique H $\alpha$ , de bande passante 0,05 nm.

À Nançay, la station comporte une antenne de service, dite antenne multifréquence des flux globaux, avec une dizaine de canaux entre 160 et 450 MHz pour la surveillance de l'activité. Cette antenne fournit un flux intégré sur le disque solaire plusieurs fois par seconde. Les observations du radiohéliographe se font sous forme d'images bidimensionnelles mais

à cadence plus modérée, dans la même bande de longueur d'onde (métrique). Le radiohéliographe est un instrument de recherche de pointe ; néanmoins, son apport à la surveillance de l'activité solaire est très importante en raison de son fonctionnement en mode imagerie multifréquence et systématique.

*Le radiohéliographe de Nançay, où la station analyse les ondes métriques du Soleil.  
© Observatoire de Paris*

