

Les aurores polaires

Christian Larcher

CLEA

Résumé : Les aurores polaires sur Terre résultent d'une interaction entre les particules chargées portées par le vent solaire et les atomes ou ions situés dans la haute atmosphère. Ces effets sont régis par le champ magnétique terrestre et l'activité solaire.

Nous allons donner successivement quelques caractéristiques du champ magnétique terrestre, du champ magnétique solaire, du vent solaire avant de retourner à l'explication du phénomène des aurores boréales avec un petit détour vers les mécanismes d'émissions lumineuses. Nous indiquerons ensuite quelques autres effets de l'activité solaire.

Mots-clefs : ARTICLE DE FOND - ATOME - SOLEIL - VENT CHAMP MAGNÉTIQUE-

Le champ magnétique terrestre et ses caractéristiques

1- Qu'appelle-t-on champ magnétique d'un aimant et champ magnétique terrestre ?

Un champ magnétique est une zone de l'espace où se font sentir des interactions magnétiques.

A la surface de la Terre, on sait depuis le 12^{ème} siècle qu'une boussole donne approximativement la direction du nord Géographique. Le pôle « magnétique » n'est cependant pas strictement superposé au pôle « géographique », et la distance au pôle « géographique » varie avec le temps.

On sait que deux pôles nord magnétiques se repoussent alors que un pôle nord magnétique et un pôle sud magnétique s'attirent. En fait, la Terre se comporte donc à peu près comme un

immense aimant dipolaire comportant un « pôle sud magnétique » actuellement près du « pôle nord géographique » (défini par l'axe de rotation de la Terre) et un « pôle nord magnétique » près du « pôle sud géographique » puisque c'est le pôle nord magnétique d'une boussole qui s'oriente vers le pôle nord terrestre.

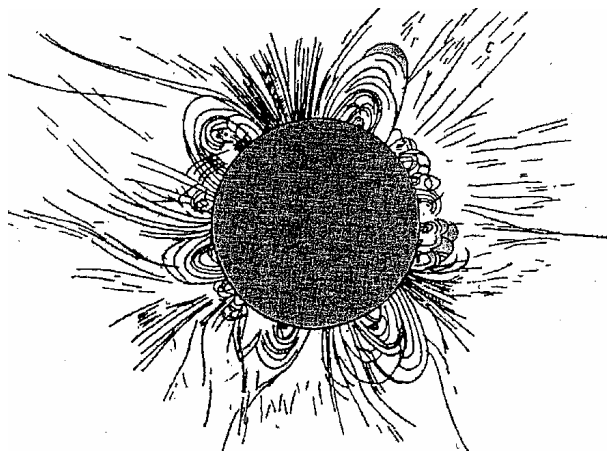
L'usage est cependant d'appeler « pôle magnétique » nord celui qui est du côté du « pôle géographique » nord et « pôle magnétique » sud celui qui est du côté du « pôle géographique » sud, distinguant ainsi un pôle géographique et un pôle magnétique de part et d'autre de la Terre.

De façon générale on représente un champ magnétique par un réseau d'une infinité de lignes de champ telles que l'aiguille d'une boussole soit tangente à chacun des points de ces lignes. Par convention, les lignes de champs d'un aimant vont d'un pôle nord magnétique de l'aimant vers le pôle sud magnétique de l'aimant à l'extérieur de l'aimant. Plus les lignes de champs sont serrées plus le champ est intense.

On peut matérialiser (visualiser) les lignes de champ magnétique d'un petit aimant droit à

l'aide de limaille de fer : on colle un aimant droit sous une plaque de verre et on saupoudre celle-ci de limaille. Chaque grain de limaille se comporte comme une mini boussole. On constate que beaucoup de lignes de champs sont fermées et qu'elles convergent en se resserrant vers les pôles de l'aimant.

Le schéma 1 montre l'aspect du « spectre » d'un aimant constitué par les lignes de champ magnétique pour la Terre.



2- Quelques caractéristiques du champ magnétique terrestre

Le **pôle magnétique nord de la Terre** est le lieu où une boussole, libre de tourner aussi bien dans le plan vertical que dans le plan horizontal, pointe perpendiculairement vers le sol. On peut utiliser une aiguille suspendue en son milieu par un fil sans torsion.

Ce point se déplace au cours des années et même au cours d'une journée (il décrit une petite courbe fermée).

Actuellement, le pôle « nord » magnétique est situé au Groenland à environ 79° de latitude Nord et 69° de longitude ouest ; il se trouve à peu près à 1 900 km du pôle nord géographique.

Le **pôle magnétique « sud »** se trouve dans l'hémisphère sud à environ 2 600 km du pôle sud géographique : il est situé en Terre Adélie.

Les **deux pôles** magnétiques de la Terre ne sont pas aux antipodes l'un de l'autre et la droite qui les joint ne passe pas par le centre de la Terre :

elle est inclinée de $11,04^\circ$ par rapport à l'axe de rotation de la Terre.

Le champ magnétique terrestre a une intensité qui diminue régulièrement. Il est représenté par un vecteur **B** situé dans le plan du méridien magnétique (plan passant par l'axe des pôles magnétiques et contenant l'aiguille de la boussole au point considéré).

L'angle d'inclinaison **I** est l'angle que fait le champ **B** avec le plan horizontal : à Paris, on a par exemple, $I \approx 64^\circ$.

– L'angle de déclinaison **D** est l'angle du méridien magnétique avec le méridien géographique : à Paris, on a par exemple, $D \approx 6^\circ$.

– Ainsi, à Paris, l'intensité du champ magnétique terrestre (dont l'unité est le Tesla noté T) est $B \approx 4,5 \cdot 10^{-5}$ T. La composante horizontale B_0 est telle que :

$$B_0 = B \cos I = 4,5 \cdot 10^{-5} \cos 64^\circ = 2 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$

3- Quelle est l'origine de champ magnétique terrestre ?

On admet actuellement qu'au centre de la Terre, dont le rayon est approximativement 6 400 km, il y aurait un noyau métallique fluide d'environ 2900 km constitué d'un plasma de fer et de nickel. Un plasma est un milieu fluide contenant des ions à haute température, électriquement conducteur mais neutre c'est-à-dire contenant autant d'espèces chargées positivement que négativement.

Ce plasma dont la température est de l'ordre de $5\,000^\circ\text{C}$ tournerait autour d'un cœur **solide** appelé « graine » de 1 200 km de rayon composé également de fer et de nickel (densité environ 16), le tout formant un « noyau ».

Ce plasma fluide conducteur circulerait par convection thermique dans le noyau. Il formerait ainsi l'équivalent d'un courant électrique lequel engendrerait un champ magnétique selon le principe de la dynamo à disque de Faraday.

4- Qu'est-ce qu'une dynamo ?

Une dynamo électrique est un dispositif qui génère du courant **continu**. Au sens précis du terme, la « dynamo » de bicyclette n'est pas une véritable dynamo... mais un alternateur qui produit du courant alternatif.

En effet quand un fil est parcouru par un courant continu, il donne naissance à un champ magnétique ; l'expérience de Oersted consistait à observer la déviation de l'aiguille d'une boussole à proximité d'un fil électrique parcouru par un courant continu. Mais inversement quand le champ magnétique varie, il crée un courant variable dans un conducteur électrique. C'est ainsi qu'un aimant droit tournant devant une bobine crée un courant alternatif dans la bobine ; c'est le principe des générateurs EDF.

La Terre se comporterait comme une dynamo autoexcitatrice analogue à la dynamo à disque de cuivre de Faraday.

Le disque tournant est analogue au plasma en mouvement dans le noyau de la Terre.

On ne connaît pas l'origine de ce processus : ce peut être un champ initial ou un courant continu initial ... c'est le célèbre problème de l'œuf et de la poule.

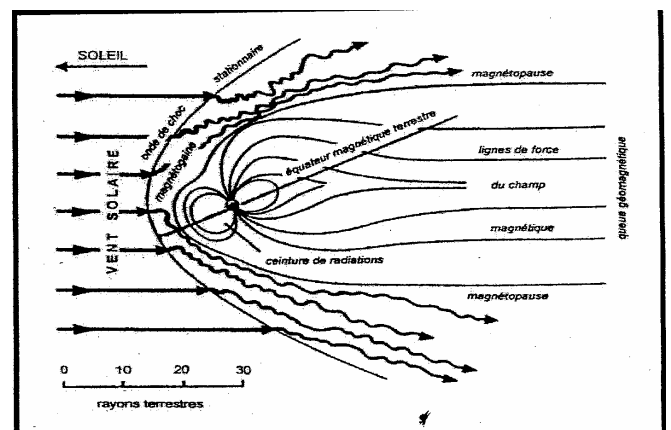
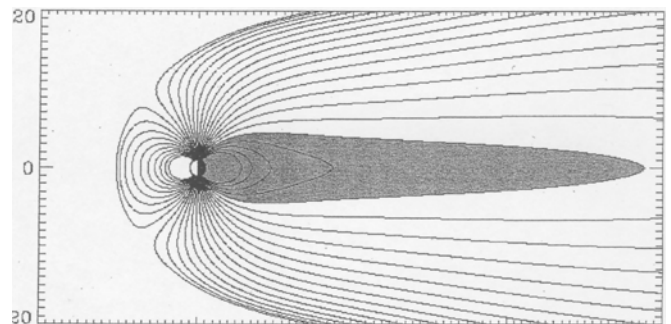
Toujours est-il qu'à partir du moment où un courant circule dans une bobine, elle crée un champ magnétique et que ce champ magnétique engendre des courants induits dans le disque en mouvement (courants de Foucault). Les courants induits donnent naissance à des forces qui tentent de s'opposer au mouvement (principe des freins électromagnétiques). C'est un peu le contraire d'une « roue de Barlow » dont le mouvement est produit par les forces qui s'exercent sur le disque lorsqu'on y fait passer un courant. La roue de Barlow est l'ancêtre du moteur électrique.

Dans la Terre, l'énergie provient des énormes masses de plasma en mouvement de convection autour du noyau.

5- La magnétosphère

Depuis qu'on a envoyé dans l'espace de nombreux satellites, on a pu étudier les lignes de champ géomagnétique dans l'espace environnant la Terre. Ce qu'on appelle « magnétosphère » de la Terre est l'espace où s'exerce le champ magnétique. Elle constitue une sorte de bouclier magnétique qui nous protège contre les particules (électrons,

protons, ions) venant du Soleil. Elle ralentit et divise en effet ce « vent solaire » constitué de particules électrisées.



La forme de cette magnétosphère ressemble à l'onde de choc qui se produit à l'avant d'un bateau en mouvement sur l'eau : l'eau est comprimée par l'étrave à l'avant du bateau. A l'arrière, au contraire, l'eau forme une longue traînée. La structure est un peu analogue à celle des comètes lorsqu'elles sont près du Soleil. La magnétosphère terrestre présente toujours sa traînée à l'opposé du Soleil quelque soit l'heure ; les lignes de champ s'ouvrent et se ferment lorsqu'elles passent du côté jour au côté nuit du fait de la rotation de la Terre.

Les particules électrisées sont guidées par les lignes de champ magnétique, elles tourbillonnent autour de ces lignes, le plus grand nombre est dévié et la Terre ainsi protégée. Certaines, environ 10%, peuvent s'engouffrer dans les « cornets » polaires nord ou sud. Ces « cornets » délimitent un ensemble de lignes de champ fermées du côté du Soleil et un ensemble de lignes de champ ouvertes à l'opposé du Soleil. Ces cornets sont les défauts de la cuirasse.

Certaines particules voyagent d'un pôle à l'autre parfois plusieurs fois. Chaque « bond »

de dure environ 5/10 s pour un électron et 20 secondes pour un proton. Ces particules jouent au ping-pong entre les pôles magnétiques dans ce qu'on appelle les « ceintures de Van Allen » constituées par les lignes de champ fermées.

Ainsi, les particules du vent solaire suivent les lignes de champ, un grand nombre se retrouvent aux pôles magnétiques et donnent les aurores polaires que l'on voit parfois dans ces régions à hautes latitudes. En général, ces aurores apparaissent simultanément au pôle nord et au pôle sud.

6- L'inversion du champ magnétique terrestre

Comme on l'expliquera dans un prochain paragraphe le champ magnétique solaire s'inverse avec une période régulière. Qu'en est-il pour la Terre ?

Dès 1906 on découvrit que, dans le passé, le champ magnétique Terrestre s'était inversé plusieurs fois.

Lorsque de la lave d'un volcan sort de la Terre elle contient des petits cristaux d'oxyde magnétique qui s'orientent librement dans le sens du champ magnétique existant à l'époque de la coulée.

Les laves en se refroidissant figent en quelque sorte ces petits aimants : les laves fossilisées ont conservé le sens et la valeur du champ magnétique de cette époque.

On pensait que le dernier retournement avait eu lieu il y a 700 000 ans. Des recherches assez récentes semblent indiquer un retournement beaucoup plus proche datant d'environ 30 000 ans. Attendons une confirmation indiscutable ^(cf) de ce résultat.

Par contre on constate à l'heure actuelle que l'intensité du champ magnétique terrestre diminue chaque année. Certains chercheurs estiment que l'on pourrait atteindre une valeur nulle dans 2 à 3000 ans. Cette absence de champ magnétique dipolaire ne serait pas sans conséquence pour la vie sur Terre.

L'activité du Soleil

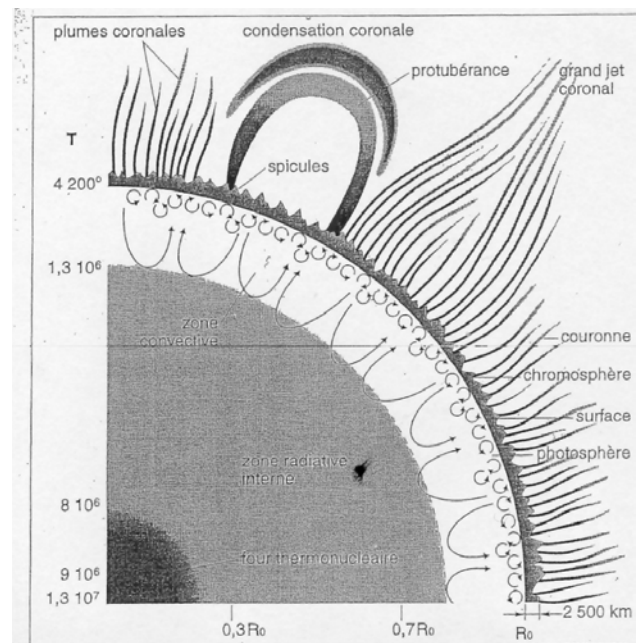
1- activité interne du Soleil

Au cœur du Soleil il y a une sorte de four thermonucléaire dont la température est de l'ordre de 15 millions de degrés et la pression de l'ordre de 200 milliards de fois la pression atmosphérique terrestre.

Dans ce four, 564 millions de tonnes d'hydrogène sont transformées chaque seconde en hélium.

Une partie de la masse est transformée en énergie (environ 4 millions de tonnes par seconde selon la relation d'Einstein : $E = mc^2$). Cette énergie est rayonnée sous forme de photons.

Ces photons arrivent dans la zone radiative située près de la surface du Soleil



Dans cette zone radiative la température décroît de 9 millions de degrés à 1 million de degrés. Dans cette zone les photons sont absorbés et réémis un très grand nombre de fois. Progressivement, s'approchant de la surface, ils perdent un peu de leur énergie et se transforment partiellement en photons X puis en photons ultraviolets enfin en photons visibles. On estime à plusieurs millions d'années le temps nécessaire pour que les photons arrivent à la surface du Soleil.

Pour cela ils ont encore à traverser la *zone convective* qui débute environ 200 000 km sous la surface du Soleil. Dans cette zone se forment d'énormes bulles de gaz chaud ; ces bulles se déplacent selon des mouvements de convection qui suivent des « tubes de convection » et viennent éclater en surface. Ces sections de tube de convection sont visibles sous forme de tâches brillantes sur les photographies prises de la Terre et constituent ce qu'on appelle des « granules » ou « grains de riz » ; elles sont de la taille de la Terre.

Elles correspondent aux bulles en mouvement ascendant, les espaces intergranulaires sont plus sombres et correspondent à des mouvements descendants de la matière. La durée de vie de ces granules est de quelques minutes.

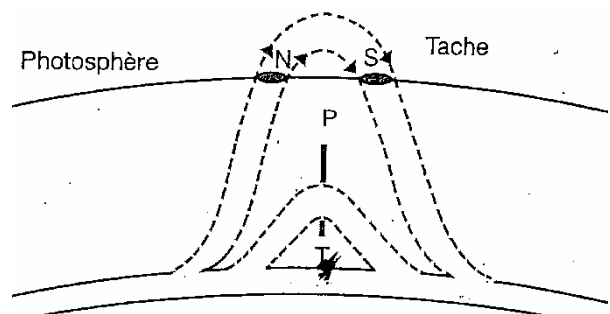
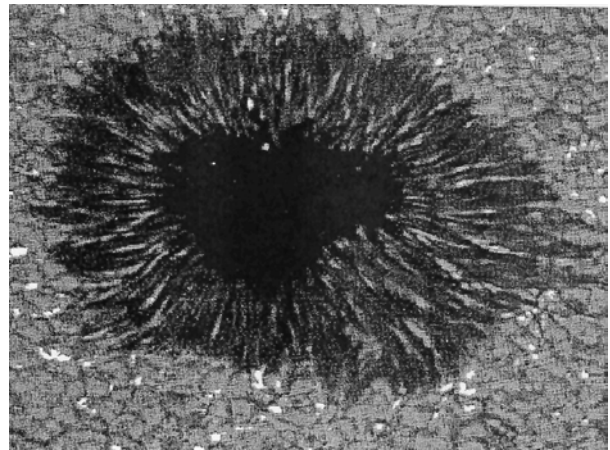
2- La photosphère

On appelle photosphère la sphère qui est usuellement visible quand on observe le Soleil. Elle a un rayon de 700 000 km par rapport au centre du Soleil et son épaisseur est d'environ 500 km au delà de la zone convective. Sa température est de l'ordre de 6 000 degrés.

Sur la photosphère, on observe parfois des taches. Ces taches, dont la taille est de l'ordre de grandeur de notre planète (voire plus), sont des zones un peu plus froides (4 000 à 5 000 degrés). Ces taches ont été redécouvertes par Galilée en 1613 mais en fait les Chinois avaient déjà dressé une liste complète d'évolution des taches en l'an - 28 ; elles apparaissent souvent deux par deux. Le champ magnétique au cœur de ces taches est très intense, de l'ordre de 8 à 10 000 fois l'intensité du champ magnétique terrestre. On évalue ces champs à partir du dédoublement par effet Zeeman des raies spectrales des radiations émises par le Soleil.

On admet aujourd'hui que ces taches seraient des sections de boucles de courants qui émergent de la photosphère en venant des zones inférieures.

A côté de ces taches, on voit apparaître des zones plus lumineuses que le reste de la photosphère appelées « facules ». Cette surintensité compense la moindre intensité lumineuse des taches.



3- La chromosphère solaire

La chromosphère n'est visible que lors des éclipses ou avec un coronographe.

C'est une mince couche (quelques centaines de km) de gaz de couleur rose violet (émission d'une radiation à 656,3 nm), transparente à la lumière blanche. Elle s'étend sur environ 2 500 km autour de la photosphère. Elle contient de nombreux filaments lumineux appelés spicules. Ces spicules sont visibles avec un filtre H α ; ils sont dus à des jets de matière qui s'élèvent avec des vitesses de l'ordre de 25 km.s⁻¹ et peuvent atteindre 5000 à 10000 km puis retombent

en 5 à 10 minutes. On aperçoit également des fibrilles qui sont des bandes de gaz horizontales et sinueuses situées à proximité des centres actifs.

C'est dans cette zone qu'on peut observer les éruptions solaires. De brusques augmentations de brillance des zones situées à proximité des taches sont parfois observées.

Les éruptions solaires se détectent dans tous les spectres (gamma, X, radio, UV, visible avec des filtres, infrarouge). Elles ont pour effet d'accélérer les particules électrisées provenant du Soleil. Elles peuvent en plus arracher de la matière coronale (matière appartenant à la couronne solaire, voir paragraphe suivant) et provoquer à la fois de fortes perturbations dans les circuits électriques et de magnifiques aurores polaires.

4- La couronne solaire

C'est la région la plus externe du Soleil : elle s'étend sur plus de 2 millions de km. Sa température est très élevée ; elle peut atteindre 2 millions de degrés.

Si on observe la couronne à l'aide d'un spectrographe recueillant les rayons X issus du Soleil, on remarque des zones sombres qui correspondent à des zones où le rayonnement X est moins intense : ces zones sont « les trous coronaux ». C'est à partir de ces trous coronaux que les particules les plus rapides du vent solaire s'échappent et se répandent dans le système solaire (à environ 700 km/s). A cause du vent solaire le Soleil perd une masse d'environ 1 million de tonnes par seconde.

Les trous coronaux se situent aux endroits où les lignes de champ magnétique du Soleil s'ouvrent vers l'infini, en particulier aux pôles solaires que la sonde spatiale Ulysse a survolés en 1994 et 1995.

5- La périodicité de l'apparition des taches sur la photosphère

Les observations de Schwabe (1789-1875) montrèrent que l'apparition des taches suivait un cycle dont la valeur moyenne est de 11 ans.

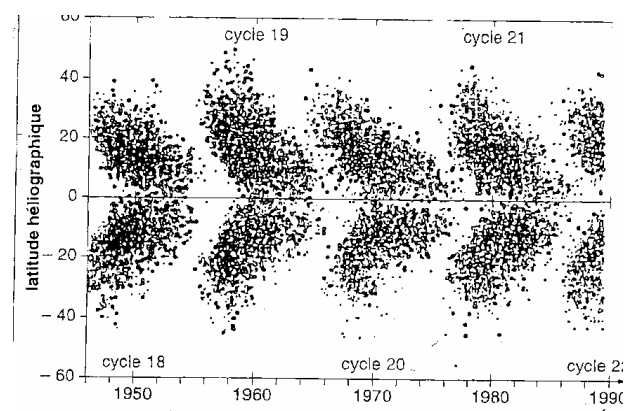
Au bout de 11 ans, le cycle des taches recommence mais on observe une inversion des pôles du Soleil. Le pôle magnétique nord est devenu un pôle magnétique sud et réciproquement.

Pour retrouver une même configuration, il faut attendre 22 ans environ : c'est le cycle de HALE (1868-1938).

Ces taches ont un mouvement d'ouest en est sur la surface du Soleil. Elles apparaissent en générale aux latitudes moyennes vers 35 à 40° de latitude dans l'hémisphère nord ou sud. Cette zone est appelée « zone royale ».

Les taches apparaissent souvent par groupe de deux. La tache de tête, dans le sens de la rotation, est un peu plus proche de l'équateur que la tache de queue. Chaque tache est un pôle magnétique nord ou sud. La tache de tête a le même pôle (nord ou sud) que l'hémisphère dans lequel elle se trouve. Par exemple, si dans l'hémisphère géographique nord, le pôle magnétique est nord, alors la tache de tête est nord et la tache de queue sud.

Pour l'autre hémisphère on trouve une situation symétrique avec des polarités inversées. Le diagramme donnant la latitude héliocentrique en fonction du temps des taches successivement observées ressemble aux ailes d'un papillon : on l'appelle diagramme papillon (ou diagramme de Maunder).



Si l'on étudie l'apparition des taches au cours de l'histoire, on constate une absence presque totale de taches de 1645 à 1715, c'est-à-dire durant quasiment tout le règne du Roi Soleil ... Le règne de Louis XIV est par ailleurs associé à un petit âge glaciaire au cours duquel les hivers furent très rigoureux (particulièrement en 1709).

On retrouve ces minima d'activité grâce à la dendrochronologie. A partir des cernes successifs de la section d'un tronc d'arbre il est possible de les dater. L'étude de la largeur des cernes donne également des indications sur les

conditions climatiques de l'époque. Les résultats obtenus corroborent les informations données par l'étude du carbone 14.

6- La dynamo solaire et la formation des taches

L'enveloppe du Soleil ne tourne pas comme un solide indéformable. Un point de l'équateur du Soleil a une période de rotation plus courte qu'un point situé à une latitude plus élevée ; l'équateur tourne environ 40% de fois plus vite que les pôles. Ainsi :

- à l'équateur, la rotation se fait en environ 25 jours ;
- aux pôles, la rotation se fait en environ 29 jours.

On dit que le Soleil a une rotation différentielle. On estime que cette rotation différentielle peut initier un phénomène de dynamo qui est à l'origine du magnétisme des taches solaires.

Il semble que l'apparition des taches corresponde à des zones où les lignes de champ magnétique sont étirées, enchevêtrés, entortillés et où l'énergie stockée s'accumule lentement.

A la fin ces lignes de champs sont tellement tortueuses et étirées qu'il se forme des sortes de hernies qui viennent exploser à la surface en formant des taches solaires.

Les effets de l'activité solaire

Récapitulons les différents éléments présentés plus haut pour reconstituer les effets de l'activité solaire.

1-Qu'est-ce qui provoque les aurores polaires ?

C'est le vent solaire, constitué de particules chargées (électrons, protons, ions), éjectées du Soleil par les trous coronaux. Ces particules arrivent sur Terre en 1 ou 2 jours et sont fortement freinées par le champ magnétique terrestre.

Certaines sont déviées vers la queue de la magnétosphère, d'autres sont piégées et subissent des oscillations dans la zone de Van Allen. Elles

rebondissent sur 2 points miroirs dits magnétiquement conjugués. Enfin, certaines pénètrent dans l'atmosphère terrestre par les cornets polaires qui séparent les lignes de champ magnétique fermées (du côté de la Terre où il fait jour) des lignes de champ magnétiques ouvertes (celles qui sont du côté nuit), dirigées vers la queue de la magnétosphère.

Les particules chargées décrivent des hélices autour des lignes de champs et viennent percuter les molécules et surtout les ions situés dans l'ionosphère de la Terre, c'est à dire une zone située entre 100 et 500 km de la Terre.

Il en résulte les belles couleurs, des « aurores », aux pôles magnétiques de la Terre.

Ces aurores peuvent parfois être visibles à nos latitudes. Ce fut le cas le 6 avril 2000 à l'Uranoscope de Gretz-Armainvilliers (77) où furent prises de belles photos rouge vif. On a choisi historiquement le terme d'aurore car ces lueurs dans le ciel ressemblent aux premières lueurs du jour. Aurore était la déesse romaine du crépuscule du matin. Par définition l'aurore est le moment qui suit l'aube et qui précède le lever du Soleil.

La Terre n'est pas la seule planète qui a le privilège d'engendrer des aurores polaires. On en trouve aussi sur Jupiter et ses satellites (en particulier sur Io et Ganymède), sur Saturne ...

Il n'est pas nécessaire que ces planètes ou satellites aient une atmosphère dense, par contre ces astres doivent générer un champ magnétique puissant.

2- A quoi sont dues les couleurs des aurores polaires ?

L'ionosphère est une région où l'on trouve des molécules, des atomes, mais surtout des ions. Ces ions résultent de l'action des rayons γ , X et UV du Soleil sur des molécules de diazote ou de dioxygène. Ils constituent une sorte de plasma globalement neutre constitué d'électrons de protons et de noyaux d'hélium.

L'aurore polaire fonctionne un peu comme un tube luminescent au néon (enseignes lumineuses rouges).

Lorsqu'on envoie une décharge électrique des atomes de néon passent de leur état normal à

un état excité qui dure très peu de temps (environ 10^{-9} s). En revenant à leur niveau initial ils émettent des photons dans la zone de perception du rouge. Dans le tube il apparaît une belle teinte rouge.

Dans les aurores polaires on observe particulièrement à l'œil nu deux couleurs verte et /ou rouge car l'œil humain est plus sensible aux radiations correspondantes ; elles correspondent à l'émission de l'oxygène à partir d'un état excité dont la durée de vie est longue de l'ordre de 0.90 s à 110 s. En effet à cette altitude (environ 100 km) la densité de l'air est très faible ; elle est telle que le libre parcours moyen (c'est à dire la distance moyenne parcourue par une particule entre deux collisions) entre deux collisions est très élevé ce qui autorise des durées de vie importantes des atomes ou des molécules à l'état excité. L'oxygène atomique à cette altitude donne en particulier une raie verte à 557,7 nm et vers l'altitude de 250 km une raie rouge à 630,3 nm, la masse volumique de l'air étant d'environ 10^{-8} g/m³ à ce niveau.

Il existe beaucoup d'autres raies enregistrées par les récepteurs. Ces transitions qui se produisent avec émission de lumières colorées correspondent à des raies que l'on ne peut pas obtenir au laboratoire car on ne peut pas y reproduire les mêmes conditions physiques.

3- La poésie des aurores boréales

Pour ceux qui supportent mal les explications un peu scientifiques ou pour ceux qui veulent ressentir la féerie du spectacle voilà ce qu'un Américain en expédition en Sibérie orientale notait en 1865 :

« Tout l'univers semblait en feu. Une arche immense composée des couleurs brillantes du prisme traversait la voûte céleste d'Est en Ouest - comme un gigantesque arc en ciel - avec une longue frange de filets rouge cramoisi et jaune s'étirant depuis le bord convexe - parallèles à l'arche - s'élevaient soudain du côté Nord de l'horizon et montaient à son zénith - à intervalle de une à deux secondes - des bandes larges - et les cieux avec une majesté prompte et constante - comme de longs brisants de lumière

phosphorescente - déferlaient dans l'océan d'espace sans limites »

4- Le bruit des aurores polaires

Des observateurs disent avoir entendu des bruits d'arcs électriques, de léger grésillement lors des activités aurorales les plus fortes. Ces bruits apparaîtraient quand le champ électrique est d'au moins 1500 volts par mètre.

5- Les effets des orages magnétiques du Soleil

Les orages magnétiques du Soleil provoquent parfois de gros dégâts sur Terre. Par exemple le 13 mars 1989 au Québec vers 3 h du matin un violent orage magnétique a créé de forts courants induits dans tous les réseaux conducteurs de faibles résistivités électriques (voies ferrées, gazoducs et lignes à hautes tensions).

Des surcharges se produisent dans les enroulements des transformateurs qui disjonctent. Six millions de Canadiens furent privés de courant électrique pendant 9 heures. Les communications radios et le système GPS furent perturbés.

Ces orages peuvent aussi détruire les systèmes électroniques embarqués dans les satellites.

6- Des effets de l'activité solaire sur le climat ?

Au delà des aurores polaires et des orages magnétiques, l'activité du Soleil a-t-elle d'autres effets sur la Terre ?

De nombreuses études ont été réalisées pour chercher des corrélations entre activité solaire et données météo. Rien n'est, pour l'instant, parfaitement établi.

Cependant on constate que durant le règne de Louis XIV il n'y avait pratiquement pas d'activité solaire et que cela correspondait à un mini âge glaciaire. Est-ce un épiphénomène ?

Bibliographie : Sun, Earth and sky Kenneth R. Lang Editions Springer.

Petite mise au point sur les "aurores polaires"

Petite mise au point sur "Les aurores polaires"

Nous avons reçu un courrier de M. Fehrenbach au sujet de l'article de C. Larcher: « Les aurores polaires ». La lettre est intéressante car elle apporte des précisions complémentaires d'une grande finesse. Nous ne donnons pas la lettre *in extenso* mais nous donnons les passages les plus à même d'intéresser le lecteur.

M. Fehrenbach a eu la gentillesse de nous donner aussi une petite bibliographie sur le sujet. Nous la reproduisons intégralement.

Nous remercions notre collègue pour l'intérêt qu'il témoigne ainsi à notre revue. Voici donc l'essentiel des remarques avec quelques commentaires ajoutés à la suite d'un entretien téléphonique avec M. Fehrenbach:

Le champ magnétique terrestre

I-1 La partie est terminée par une figure qui n'est pas celle du champ magnétique terrestre,

Effectivement, la figure 1 donne l'aspect d'une couronne solaire qui n'a rien à voir avec le champ magnétique terrestre. C'est une erreur d'identification de fichier de notre part. La figure correcte du champ magnétique terrestre était donnée plus loin dans le texte.

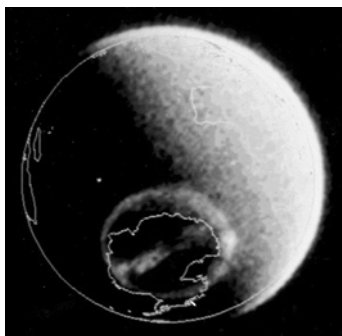
I-2 Il n'est pas donné de date pour les positions des pôles, Celles notées ne sont pas les actuelles.[...]

Effectivement, la position des pôles magnétiques varie au cours des années. La position actuelle du pôle magnétique nord, selon "Ressources naturelles Canada", est de 82,3°N de latitude et 113,4°W de longitude. (La position du pôle magnétique sud est approximativement 65°S de latitude et 138°E de longitude).

Section I-5 Le début est correct, mais lorsque l'auteur se met à parler des « cornets » [...] on retrouve les mots « défauts de cuirasse » sans explications. [...] On termine par une [...] erreur en positionnant les aurores au pôle. Elles existent bien au pôle mais ce n'est pas là qu'elles sont les plus intenses, c'est sur l'ovale auroral [...]

Les lignes de force du champ magnétique, même si elles n'étaient pas déformées par le vent solaire, présenteraient deux cônes (cornets) aux pôles magnétiques, par où les particules pourraient pénétrer. Mais, la section efficace de ces cornets est extrêmement faible et l'essentiel des particules qui sont responsables des aurores polaires arrivent, en fait, par un mécanisme compliqué (et semble-t-il encore mal connu) via des zones précises

entourant les pôles magnétiques, les ovales auroraux, connus depuis fort longtemps (19^{ème} siècle). Les ovales auroraux passent à 700 km ou 800km des pôles. Nous donnons ci-dessous une reproduction d'une photographie en ultraviolet réalisée par le satellite Dynamic Explorer (NASA) montrant l'ovale auroral sud (photographie disponible sur le site de l'Institut Astrophysique Spatiale:www.ias.fr).



Les effets de l'activité solaire

Section III-2 [...] pour les durées de vie ce n'est pas « de l'ordre de 0.90 à 110 s » mais très exactement de 0,7 s pour la raie verte de l'oxygène à 557,7 nm émise autour de 100 km, et de 110 s pour la raie rouge de l'oxygène à 630,0 nm, et 636,4 nm émise autour de 250 km, la valeur notée de 600,3 nm étant fausse.

La précision est importante car il y a deux valeurs possibles et non pas une plage de valeurs.

Petite bibliographie sur les aurores

- *Introduction à l'étude de la Luminescence Atmosphérique et de l'aurore Polaire* de D. Barbier
- *Introduction élémentaire à la physique cosmique et à la physique des relations Soleil-Terre* de JP Legrand, TAAF
- *International Auroral Atlas*, UGGI
- *Majestic Light* de Robert H. Eather, AGU
- *The Northern Light* de A..Brekke et A. Egeland, Springer-Verlag
- *Aurora* de Alister Vallance et Jones, Reide,
- *Atmospheric Emissions*, Nato Study 1968
- *Physics and Chemistry of Upper Atmosphere* de B.M. McCormac, Reidel, 1972
- *Exploration of the Polar Upper Atmosphere* de C. S. Deehr J. A. Holtet, Reidel
- *Aurora and Aiglow* de Chamberlain, Reidel
- *Histoire solaire et climatique* de E. Nesme-Ribes et G. Thuillier, Belin pour la science 2000

- *Du soleil à la terre* de J. Liliensten et P.L. Blelly, EDP Sciences 2000
- *Aurores boréales et australes* de M.Fehrenbach, G.Dawidowicz et R.Marion, GNLG-Pôles d'images 2001
- *Sous les feux du soleil* de J.Liliensten et J.Bornarel, EDP Sciences 2001
- *Les Aurores* de Gérard Thuillier, revue L'Astronomie 2001 vol. 115.

Liste des principaux sites

- <http://www.geo.mtu.edu/weather/aurora/>
- <http://climate.gi.alaska.edu/curtis/curtis.html>
- <http://www.oulu.fi/~spaceweb/textbook/auroras.html>
- <http://gedds.pfrr.alaska.edu/aurora/>
- http://www-lpg.obs.ujf-grenoble.fr/photos_tromso.html



Différents aspects d'aurores polaires ©2000
Laboratoire de Planétologie de Grenoble – France
(CNRS/UJF)

C'est l'astronome Pierre Gassendi qui donna le nom d'aurore polaire aux lueurs qu'il put observer depuis la région de Digne en 1621 ! Marie-France Duval nous signale que l'activité solaire de ces derniers mois a donné lieu à des aurores polaires visibles de la région marseillaise.