

L'aurore polaire, signature des caprices du Soleil



Quand la nuit polaire s'embrase !

L'aurore polaire, signature des caprices du Soleil

FASCINANTES ET LONGTEMPS INEXPLIQUÉES, les aurores polaires sont un moyen privilégié pour étudier l'interaction entre l'atmosphère et le vent solaire. **Ce phénomène ouvre la voie à la "météo de l'espace".**

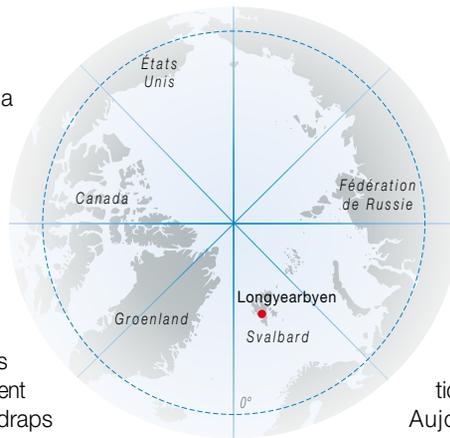


LE CERCLE POLAIRE

FRÉDÉRIC PITOUT

Astronome à l'Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie de Toulouse, il étudie les couplages entre vent solaire, magnétosphère et ionosphère, et se rend régulièrement au Svalbard.

Comme si la nature avait voulu se faire pardonner la rigueur du climat, elle a paré les régions polaires d'un des phénomènes naturels les plus beaux qui soient : les aurores polaires. Celles-ci peuvent prendre la forme de draps de lumière qui dansent dans la nuit et le froid. Elles peuvent embraser tout le ciel de vert ou de rouge en quelques secondes. Les aurores polaires ayant été observées depuis des milliers d'années, elles ont effrayé, elles ont fasciné mais n'ont laissé personne indifférent. Surtout pas des chercheurs célèbres du 17^{ème} et 18^{ème} siècles comme Galilée, Gassendi ou Descartes qui tentèrent d'expliquer ce bien étrange phénomène. Ils étaient bien loin de se douter que le Soleil n'émet pas uniquement de la lumière, mais aussi des particules énergétiques qui interagissent avec l'atmosphère de notre planète pour former deux ovales auro-raux autour des deux pôles magnétiques, comme l'ont constaté les premiers navigateurs



et explorateurs vers l'Arctique et l'Antarctique.

Aujourd'hui, même si les aurores sont toujours aussi fascinantes, elles sont au cœur d'enjeux scientifiques qui dépassent la simple contemplation. En effet, l'accès à l'espace s'est démocratisé, les activités spatiales se sont intensifiées et notre dépendance aux satellites artificiels (GPS, télécommunications, météorologie, etc.) est de plus en plus criante. Quel est le lien avec les aurores ? Les humeurs du Soleil peuvent menacer ces activités et les aurores constituent un formidable moyen de visualiser les interactions entre l'activité solaire et la haute atmosphère terrestre. Tout comme les zones polaires sont au cœur de la climatologie et des recherches sur le réchauffement climatique, ils se trouvent aussi au cœur de la recherche





GUILLAUME GRONOFF

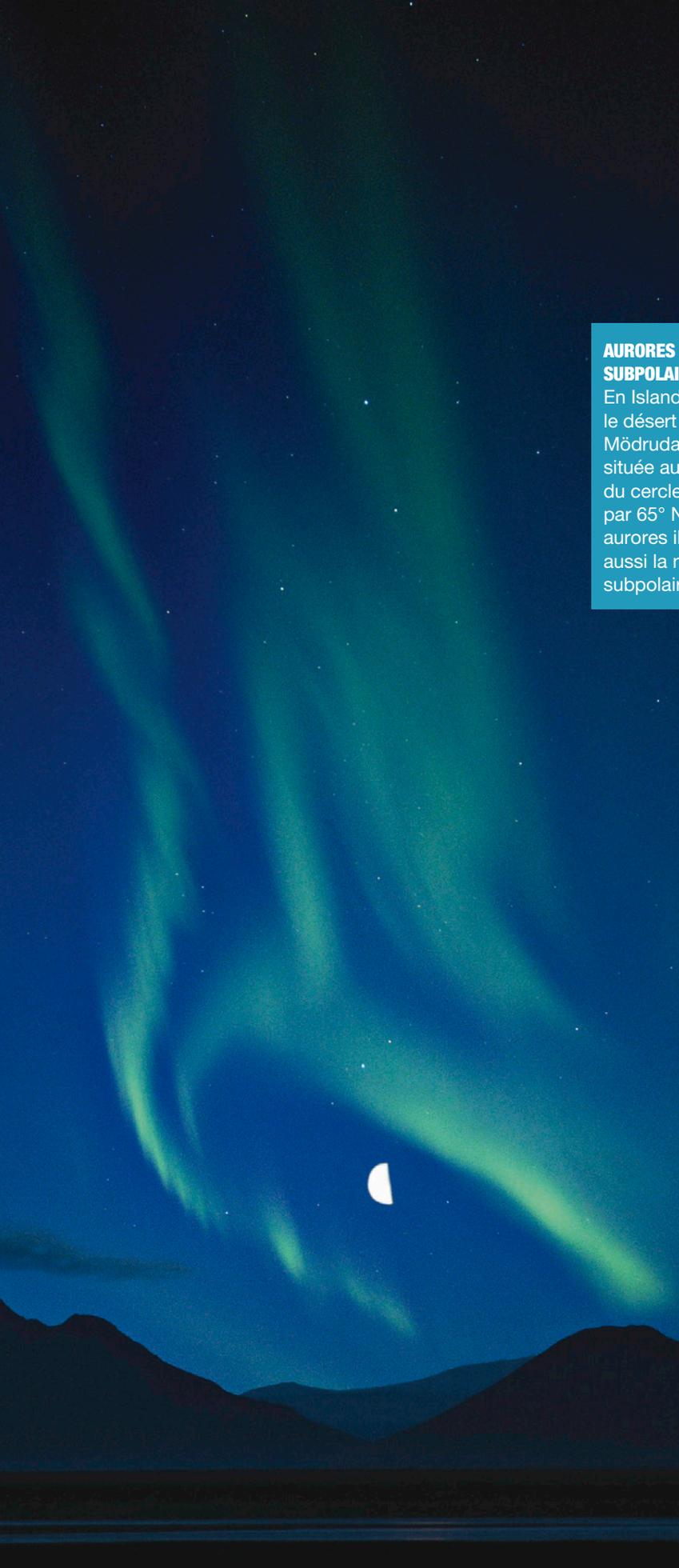
sur l'environnement spatial et la météorologie de l'espace.

De tous temps, les phénomènes inexplicables ont suscité des récits et légendes en tous genres ; les aurores boréales ne dérogent pas à la règle. Toutefois, il est intéressant de noter que les peuplades qui vivent au quotidien avec ce phénomène en ont eu le plus souvent une vision positive. En Finlande par exemple, une légende raconte que c'est la queue du renard qui balaye la neige et l'envoie dans le ciel pour former des nuages de cristaux qui s'illuminent. D'ailleurs, aujourd'hui encore le terme *revontulet*, « feux du renard » en finnois, désigne les aurores. Pour de nombreux peuples d'Amérique du Nord, les aurores sont souvent associées à la notion de vie après la mort. Elles sont les âmes dansantes des vivants, humains ou animaux, ou, comme pour les Inuit de la baie d'Hudson, elles illuminent

le chemin vers le paradis que doit suivre l'âme des défunts. Pour d'autres, elles sont des entités vivantes à part entière. En revanche, à nos latitudes, les aurores étaient perçues avec crainte. Cela peut s'expliquer par la rareté de leurs apparitions mais aussi par leur couleur. En effet, les aurores qui sont visibles à plus basses latitudes apparaissent souvent rouges, couleur du sang, et empourpent le ciel d'une manière qui pouvait inquiéter. De fait, les aurores étaient considérées au Moyen Âge comme signe de mauvais augure en Europe du Sud, tout comme les comètes ou les pluies de météorites. Les plus anciennes traces écrites d'observations d'aurores remontent à 2600 ans avant notre ère en Chine. Pourtant, il faudra attendre le

DES RADARS SUR LE TOIT DU MONDE

Au Svalbard, les radars ESR installés à Longyerbyen (78° Nord) enregistrent les pluies de particules chargées qui accompagnent les embrasements colorés de la nuit polaire.



AUORES SUBPOLAIRES

En Islande, dans le désert de Mödrudalsöræfi située au dessous du cercle polaire, par 65° Nord, les aurores illuminent aussi la nuit subpolaire.

17^{ème} siècle pour trouver les premières tentatives d'explications scientifiques du phénomène auroral. C'est d'ailleurs à cette époque que le terme d'*aurore boréale* a été introduit par l'astronome français Pierre Gassendi en 1621 ou par le scientifique italien Galileo Galilei (Galilée)

en 1619, selon les sources consultées. Galilée pensait que les aurores étaient dues à la lumière du soleil diffusée par l'atmosphère. Pour René Descartes, mathématicien, physicien et philosophe français, il s'agissait de la réflexion de la lumière solaire par des particules de glace en suspension dans l'atmosphère. Cette dernière explication, bien qu'incorrecte, avait le mérite d'expliquer pourquoi les aurores se produisent principalement à hautes latitudes.

Le premier à s'être approché de la bonne explication est Jean-François Dortous de Mairan, géophysicien et astronome français. Dans son ouvrage précurseur paru en 1733, *Traité physique et historique de l'aurore boréale*, il décrit les aurores comme étant la manifestation de l'interaction entre l'atmosphère solaire et l'atmosphère terrestre. De plus, il suspecte un lien entre l'apparition des taches à la surface du soleil (signe d'une activité accrue de notre étoile) et l'occurrence des aurores. Nous savons aujourd'hui que les intuitions de Mairan étaient bonnes, même si des détails lui échappaient

1733 : la piste des tâches solaires

forcément, tout simplement parce que des connaissances de base en physique (cycle d'activité solaire, géomagnétisme, existence des particules élémentaires) manquaient aux scientifiques de l'époque. Par ailleurs, la première aurore australe a été aperçue en 1773 par le navigateur britannique James Cook qui se trouvait alors vers 60° de latitude Sud, ce qui confirma une autre présomption de Mairan : le phénomène était bel et bien commun aux deux pôles.

Par la suite, deux découvertes ont marqué des étapes décisives pour la compréhension des aurores polaires. En 1741, l'astronome suédois Olof-Peter Hiorter remarque que l'aiguille de sa boussole est perturbée pendant des aurores polaires, ce qui montre que l'activité aurorale et l'activité géomagnétique sont liées. En 1851, Edward Sabine, géophysicien et astronome

LA DANSE DES AURORES POLAIRES

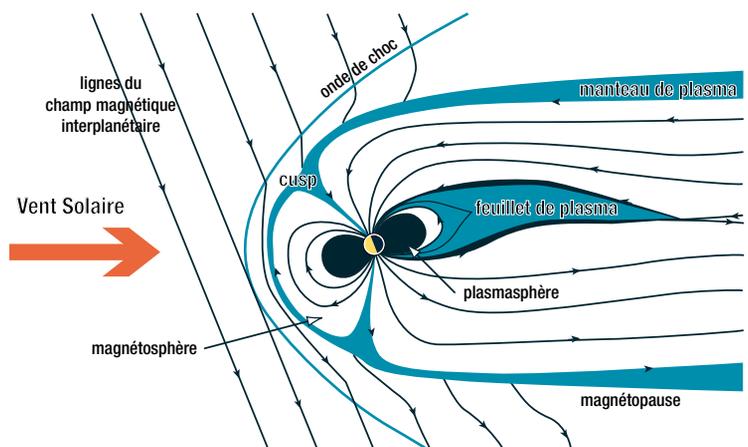
reflète les déformations des lignes du champ magnétique terrestre sous l'effet des vents solaires.

qu'activité solaire, géomagnétisme et aurores polaires étaient intimement liés.

Pour comprendre les aurores polaires, plantons le décor. D'un côté, nous avons notre étoile le Soleil, qui en plus de nous éclairer et nous chauffer, agit comme une source de particules. En effet, le Soleil émet un vent continu de particules électriquement chargées (protons et électrons en grande majorité). Ce vent solaire souffle à 300 km/s en moyenne avec des pointes à plus de 2000 km/s dans les cas extrêmes. De l'autre, 150 millions de km plus loin, la Terre possède un champ magnétique qui est dipolaire et dont les deux pôles magnétiques se trouvent près des pôles géographiques. L'axe magnétique de la Terre n'est donc pas aligné avec son axe de rotation; il existe un angle de 11° entre les deux. Remarquons que c'est très commun dans le système solaire: bien que ce soit la rotation d'une planète qui permette la génération de son champ magnétique par effet dynamo, aucune planète possédant un champ magnétique à grande échelle n'a son axe de rotation parfaitement aligné avec son axe

irlandais, montre la corrélation existant entre le nombre de taches solaires et l'activité géomagnétique. Il était définitivement prouvé

NICOLAS COILLARD / HTTP://NICOLASCOILLARD.EU



LE VENT SOLAIRE PERCE LE BOUCLIER MAGNETIQUE.

Le Soleil (à gauche) émet un vent de particules chargées appelé «vent solaire» qui déforme le champ magnétique terrestre pour lui donner une forme caractéristique: comprimé du côté du Soleil (à gauche) et étiré en une queue à l'opposé du Soleil (à droite). La magnétophère agit comme un bouclier qui dévie la majorité du vent solaire. A la faveur d'un phénomène dit de «reconnexion magnétique» (lire «la reconnexion des lignes de champs magnétiques», page 30), des particules pénètrent dans la magnétophère et spiralent autour des lignes de champs, interagissant avec les constituants de la haute atmosphère. Ces interactions entre particules du vent solaire et constituants de la haute atmosphère sont à l'origine des aurores polaires.



FRÉDÉRIC PITOUT

Les antennes du radar ESR à Longyearbyen dans la pénombre d'un midi hivernal...



GAËL CESSATEUR

Séance obligatoire de tir. Ici il y a des ours blancs, interdiction de sortir sans arme !



HÉLÈNE MÉNAGER

Visite de la toute nouvelle station optique en chenillette à partir du site EISCAT.



HÉLÈNE MÉNAGER

On a beau étudier les aurores polaires, au final nos données sont des séries de chiffres sur un écran !

Carnet de terrain de Frédéric Pitout

21 novembre 2008 Arrivée en milieu d'après-midi à l'aéroport de Longyearbyen. Silence, froid, nuit noire... Toujours l'impression de débarquer sur une autre planète.

22 novembre Premier jour de travail avec les radars ESR. Levé à 5h du matin. Il pourrait être midi ou minuit, quelle importance ? Il fait nuit noire 24h sur 24 ! Après une petite demi-heure de route pour atteindre l'observatoire, l'ingénieur qui m'accompagne met les deux radars sous tension. A 7h, j'envoie le mégawatt de puissance disponible dans le radar qui peut alors émettre son onde radio vers l'ionosphère. Les premières données arrivent quelques secondes plus tard : l'ionosphère est encore calme !

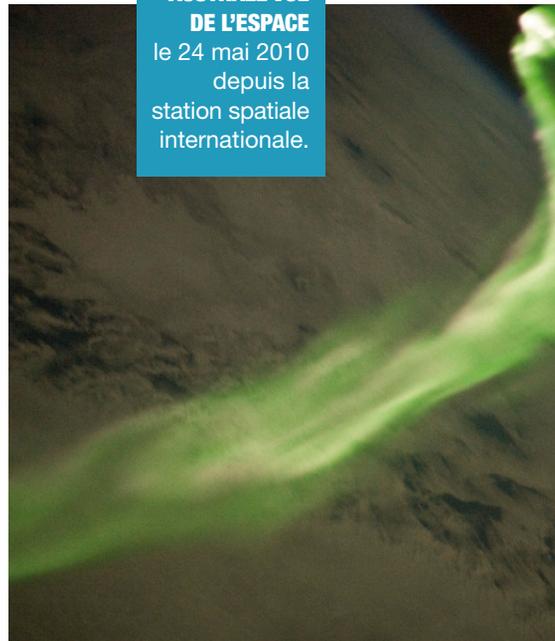
24 novembre Mes collègues de Grenoble et d'Orléans débarquent à Longyearbyen. Ils vont conduire une série d'observations de « nuit » (entre 20h et 6h du matin) en coordination avec leur spectro-polarimètre optique installé à Ny Ålesund, une centaine de km au nord-ouest. Nous nous relayerons désormais quasiment 24h/24. Ils se partageront les observations de l'ionosphère nocturne, je continuerai à observer l'ionosphère diurne, même s'il fait nuit noire, car elle reçoit directement les particules en provenance du Soleil.

29 novembre Avec tout ça, nous en oublions presque les aurores... Nous décidons de dîner tous ensemble au labo pour en profiter un peu. Peu avant minuit, des lueurs vertes apparaissent timidement au nord puis, en quelques minutes, elles embrasent tout le ciel. Malgré les -20°C, nous sortons les admirer. Entre féerie et fantasmagorie, je ne me lasse pas de ce spectacle. Je ne tarde pas trop à redescendre dormir un peu : demain matin, je dois me lever à 5h pour assurer la relève de mes collègues. Ce sera leur tour de dormir, et le mien d'observer...

3 décembre Retour en France, via Tromsø et Oslo. Nous allons enfin revoir la lumière du jour !

AUORE AUSTRALE VUE DE L'ESPACE

le 24 mai 2010 depuis la station spatiale internationale.



magnétique. On trouve même un cas extrême : Uranus dont les axes de rotation et magnétique font un angle 59° !

On appelle magnétosphère la zone dans laquelle le champ magnétique terrestre (ou planétaire d'une manière générale) domine. Cette magné-

La signature invisible de l'aurore polaire

tosphère est comprimée par le vent solaire face au Soleil et s'étire comme une queue à l'opposé du Soleil. La magnétosphère agit comme un bouclier qui dévie la grande majorité des particules du vent solaire et, par là même, nous en protège.

Pourtant, nous avons de nombreuses preuves observationnelles montrant que le vent solaire parvient à pénétrer dans la magnétosphère terrestre. Il faut savoir que tout n'est pas résolu dans ce domaine et la pénétration des particules du vent solaire dans la magnétosphère constitue toujours un thème très actif de recherche. Le mécanisme privilégié se nomme « reconnexion magnétique ». Ce processus permet la recombinaison des champs magnétiques terrestre et interplanétaire, une ouverture des lignes de champ magnétique terrestre sur le vent solaire et donc une entrée facilitée du vent solaire dans



SOURCES : ATHROPOLIS ARCTIC MAPS / UNIV. BREMEN

la magnétosphère externe.

Sachant qu'une particule chargée électriquement suit la ligne de champ magnétique sur laquelle elle se trouve en spiralant autour de cette dernière, les particules qui proviennent du vent solaire ou de la queue magnétosphérique qui se retrouvent dans le champ magnétique terrestre externe suivent les lignes de champ magnétique jusqu'aux pôles (lire « *Le vent solaire perce le bouclier magnétique* », page 27). On remarque aisément que plus une ligne de champ magnétique est externe, plus son empreinte ionosphérique se trouve à haute latitude. C'est quand les électrons et protons précipitants interagissent avec les constituants de la haute atmosphère polaire que les aurores se produisent. Par exemple, les aurores les plus communément observées sont de couleurs verte et rouge. Ces deux raies, à 557,7 et 630 nm respectivement, proviennent de transitions de l'oxygène atomique O (lire « *Petite physique de l'aurore boréale* », page 30). Pour produire une de ces émissions, un électron incident « excite » l'atome d'oxygène, c'est-à-dire lui cède de son énergie. Cet état excité n'étant pas stable, l'atome d'oxygène va finir par revenir à son état stable d'origine en libérant son excédent d'énergie sous forme de lumière : l'émission aurorale. De l'énergie absorbée par un atome

Singularité des aurores australes

L'es



KEITH VANDERLINDE / NSF

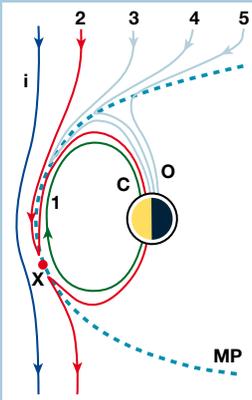
les aurores polaires ont été, et sont toujours, principalement observées dans l'hémisphère nord. Il a fallu attendre les premières expéditions en Antarctique pour pouvoir observer la contrepartie australe des émissions aurorales. De nos jours, les satellites qui comportent des imageurs témoignent de la bipolarité du phénomène. Toutefois, il est faux de croire que les aurores australes sont l'exacte réplique des aurores boréales. Les scientifiques ont en effet découvert avec surprise que des différences très significatives peuvent apparaître entre l'aspect et l'évolution des aurores dans les deux hémisphères. L'explication de ces différences fait toujours l'objet d'une recherche active mais l'on peut d'ores et déjà évoquer le rôle important de l'angle d'inclinaison de la Terre, responsable des saisons, qui fait que les deux ionosphères polaires ne sont pas éclairées de la même façon par le Soleil. D'où des différences d'ionisation de la haute atmosphère, des concentrations électroniques et des conductivités



KEITH VANDERLINDE / NSF

électriques. Autre différence : alors que la zone polaire du Nord est bien fournie en instruments de toutes sortes (radars, magnétomètres, caméras plein-ciel, etc.), la communauté scientifique s'emploie à installer le même genre d'instrumentation autour du pôle sud pour atteindre une couverture optimale du continent antarctique. La station franco-italienne Concordia au dôme C entre par exemple dans cette logique avec des projets d'installation d'instruments destinés à l'étude de la haute atmosphère polaire de l'hémisphère Sud.

Petite physique de l'aurore boréale

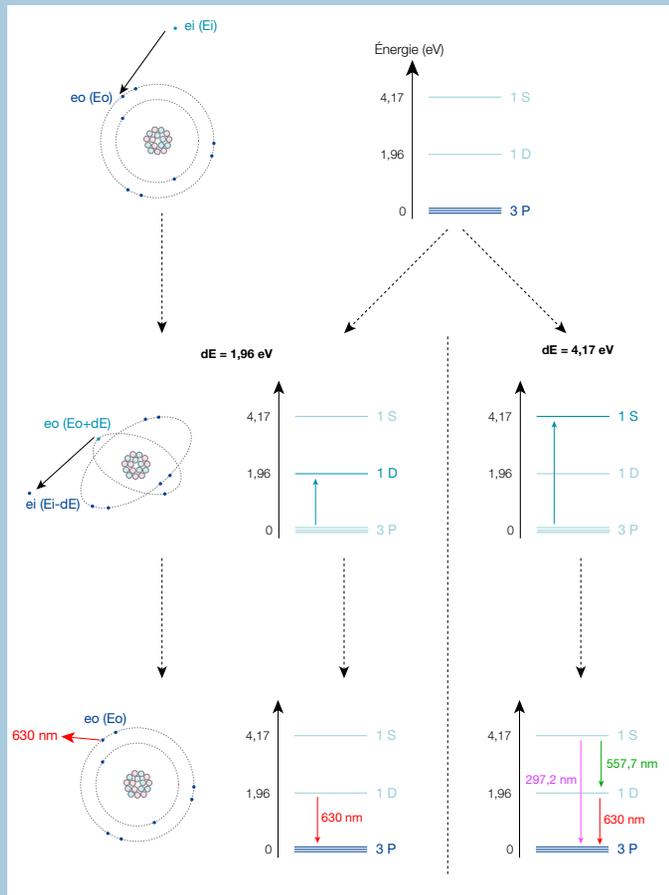


La reconnexion des lignes de champ magnétique

Quand une ligne du champ magnétique interplanétaire ("i" en bleu) se reconnecte avec une ligne « fermée » du champ géomagnétique ("1" en vert), on obtient deux lignes de champ « ouvertes » (en rouge), le long desquelles les particules du vent solaire pénètrent dans la magnétosphère et dans la haute atmosphère polaire. Les lignes ouvertes (étapes 2, 3, 4, 5,...) sont ensuite emportées par le vent solaire vers la queue magnétosphérique (MP).

la collision d'un électron sur un atome d'oxygène crée une émission aurorale

Quand un électron incident "ei", porteur d'une énergie "Ei", entre en collision avec un électron "eo", d'énergie "Eo", du nuage électronique de l'atome d'oxygène, l'électron "ei" est repoussé par "eo". Lors de la collision, "ei" cède une partie de son énergie "dE" à "eo" qui accède ainsi à une couche électronique supérieure. L'atome est alors dans un état "excité" dont le niveau dépend de la valeur de "dE". Cet état excité étant instable, "eo" va retourner sur sa couche électronique d'origine en libérant son excédent d'énergie "dE" sous forme de lumière, un photon « rouge » à 630 nm ($dE=1,96$ eV, à gauche).



ou une molécule va dépendre la transition électronique mise en jeu (c'est-à-dire la différence d'énergie entre deux états électroniques) et donc la fréquence de la lumière émise lors du retour à l'état d'origine. Pour reprendre l'exemple des deux raies de l'oxygène atomique, la raie verte à 557,7 nm correspond à une énergie supérieure à la raie rouge à 630 nm.

De nos jours, même si la physique des émissions aurorales est plutôt bien comprise, nous avons toujours beaucoup à apprendre. Au sein de l'Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie (IRAP, unité mixte CNRS / Université Paul Sabatier - Toulouse 3), notre équipe Géophysique, Planétologie et Plasmas Spatiaux (GPPS) étudie, entre autres, la partie partiellement ionisée de la haute atmosphère terrestre, l'ionosphère. La source d'ionisation est principalement le rayonnement ultraviolet solaire mais aussi, dans une moindre mesure, les précipitations de particules chargées venues directement du vent solaire et de la magnétosphère.

L'existence de l'ionosphère n'est pas forcément connue de tout un chacun même si nous en avons tous profité un jour ou l'autre. En effet, c'est l'ionosphère qui permet la propagation de certaines ondes radio (ondes courtes) sur

Les aurores préfèrent le rouge et le vert

de grandes distances : ces ondes rebondissent sur la couche conductrice que constitue l'ionosphère. Elle a été mise en évidence en 1901 par le physicien italien Guglielmo Marconi qui réussit la première liaison radio trans-atlantique entre Terre-Neuve et l'Angleterre.

Une des techniques de pointe que nous utilisons pour sonder l'ionosphère et percer ses mystères utilise précisément des ondes radios. En 1981, le consortium européen EISCAT (European Incoherent SCATter) a installé 4 radars en Scandinavie, complétés en 1996 par 2 autres sur l'île du Spitzberg dans l'archipel du Svalbard. Les positions géographiques des radars en font des outils idéaux pour observer l'ionosphère polaire et donc pour étudier la physique aurorale et plus généralement les interactions entre vent solaire et magnétosphère.

Le principe des radars EISCAT, dits à diffusion incohérente, est le suivant. Le radar émet une onde électromagnétique (fréquence de quelques centaines de MHz) dans l'ionosphère, cette



RAX AXELSSON

onde est rétrodiffusée par le milieu ionosphérique et le radar reçoit un signal de retour qui porte les propriétés du milieu ionosphérique : concentration électronique, températures électronique et ionique, vitesse ionique le long de la ligne de visée. Ces radars nous permettent ainsi de sonder l'ionosphère entre ~90 et ~800 km d'altitude.

Depuis leur création, ces radars ont été très prolifiques et ont contribué à de nombreux domaines de la physique ionosphérique. Parmi eux se trouvent en première place les effets des précipitations de particules chargées provenant du vent solaire ou de la magnétosphère sur la haute atmosphère. Ils ont révélé un aspect invisible des aurores polaires : en pénétrant dans la haute atmosphère, les électrons et protons ionisent et chauffent le milieu.

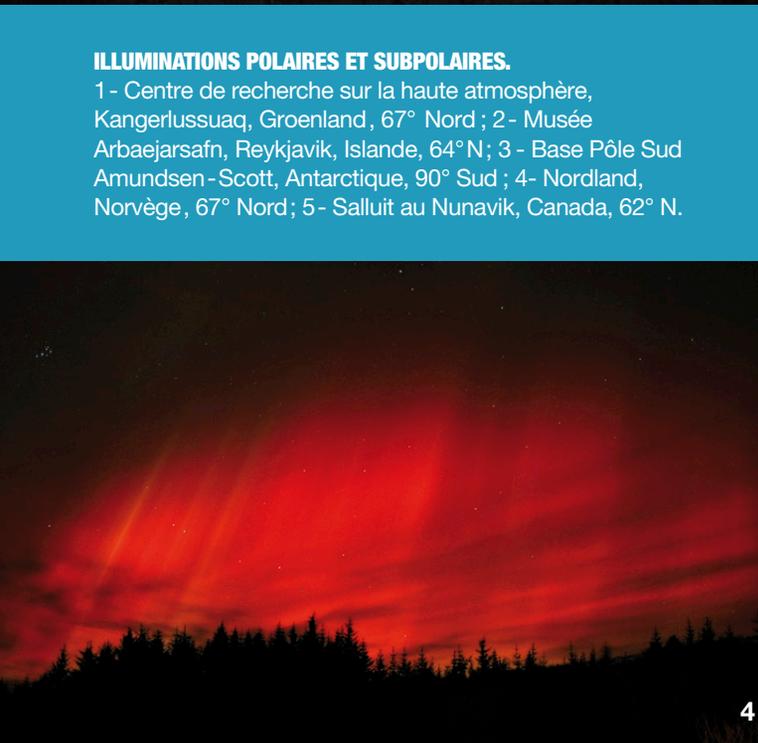
Un des domaines qui nous intéressent à l'IRAP

est la façon dont le champ magnétique interplanétaire se couple au champ magnétique terrestre par reconnexion magnétique. Cela est possible en observant l'ionosphère et plus précisément la façon dont les particules provenant directement du vent solaire pénètrent dans et interagissent avec l'atmosphère. Par exemple, nous observons bien souvent que les entrées de particules de vent solaire dans l'ionosphère sont transitoires. La nature sporadique des signatures dans les données des radars ou d'autres instruments au sol trahit la nature tout aussi sporadique du processus de reconnexion magnétique qui se produit à l'interface vent solaire-magnétosphère.

Notre communauté de chercheurs a parallè-

LES AURORES BICOLORES

proviennent de la coexistence de deux transitions énergétiques de l'atome d'oxygène « excité », libérant des photons d'énergies distinctes.



ILLUMINATIONS POLAIRES ET SUBPOLAIRES.

1 - Centre de recherche sur la haute atmosphère, Kangerlussuaq, Groenland, 67° Nord ; 2 - Musée Arbaejarsafn, Reykjavik, Islande, 64° N ; 3 - Base Pôle Sud Amundsen - Scott, Antarctique, 90° Sud ; 4 - Nordland, Norvège, 67° Nord ; 5 - Salluit au Nunavik, Canada, 62° N.

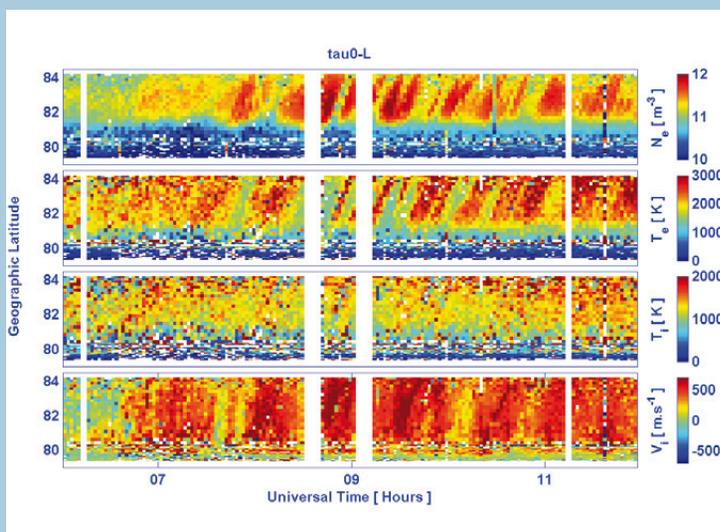
1 : NSF - 2, 4 : RAX AXELSSON / WWW.RAW.IS - 3 : RHYS BOULTON - 5 : GILLES BOUTIN / WWW.BANDITDENUIT.COM

Interpréter les données des radars EISCAT

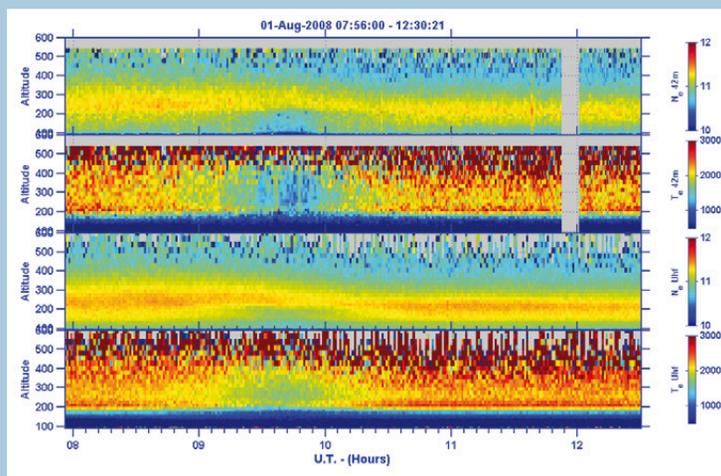
Les radars à diffusion incohérente sont les outils existants les plus sophistiqués et performants dont nous disposons pour sonder l'ionosphère. Habituellement, nous menons une campagne hivernale d'observation d'une dizaine de jours à Tromsø en Norvège et à Longyearbyen au Spitzberg. Voici deux exemples de jeux de données.

Signature ionosphérique de la reconnexion magnétique

Les données d'un radar ESR du Spitzberg, pointant vers le nord, distingue quatre paramètres du milieu ionosphérique, respectivement de haut en bas, la concentration électronique, les températures électronique et ionique et une composante de vitesse ionique. Dans ces données, la précipitation de particules (et donc potentiellement des aurores) se manifeste par des élévations simultanées de la concentration et de la température électronique. On voit ici que ces zones d'élévations de température se propagent vers le nord (structures inclinées). Ces structures sont la signature ionosphérique des entrées impulsives de particules du vent solaire dans la haute atmosphère.



Signature de l'éclipse solaire du 1er août 2008



D'autres utilisations du radar, hors campagne, sont motivées par des événements particuliers. Ainsi, le 1er août 2008, l'ombre de l'éclipse totale de Soleil est passée au nord-est du Spitzberg. Nous avons profité de l'occasion pour observer les effets de la zone d'ombre et de pénombre sur l'ionosphère polaire avec les radars EISCAT et les résultats obtenus sont étonnants. Comme le montre la figure ci-contre, l'ionosphère a fortement réagi au passage de l'éclipse, même aux latitudes où l'éclipse n'était que partielle. La figure montre, en fonction de l'altitude et du temps universel, la concentration et la température électronique mesurées par ESR (2 premiers panneaux) et les 2 mêmes paramètres mesurés à partir du radar UHF installé à Tromsø en Norvège. Les deux radars

observent dans la direction du champ magnétique local, à quelques degrés du zénith. A partir de 9h temps universel, la pénombre de l'éclipse se fait bien ressentir sur les données avec les températures électroniques qui chutent (moins d'éclairage solaire donc moins de chauffage) puis la couche de forte densité électronique (que l'on appelle région F) perd de l'altitude.



**LONGYEARBYEN,
CANDIDATE
MALHEUREUSE.**

Longtemps considérée comme l'un des sites potentiels d'accueil du radar EISCAT 3D, la capitale de l'archipel du Svalbard s'est vue préféré un site continental norvégien.

YVONNE RINNE

lement à ses activités d'observations mis au point des outils numériques pour décrire l'ionosphère. Nous pouvons, grâce au code de simulation TRANSCAR développé conjointement à l'IRAP et à l'IPAG de Grenoble, comparer les données radars aux simulations et tester nos connaissances. Avec comme principaux paramètres d'entrée un modèle d'atmosphère donnant la concentration des constituants atmosphériques dominant (N_2 , O_2 , O, H, etc.) et le flux ultraviolet solaire qui va ioniser ces mêmes constituants atmosphériques, ce code calcule les paramètres physiques qui décrivent l'état de l'ionosphère (concentration, température, vitesse). Ces paramètres sont précisément ceux mesurés par les radars à diffusion incohérente. Nous pouvons ainsi efficacement tester nos connaissances en comparant directement les simulations aux données quand elles existent, ou prédire l'état de l'ionosphère quand il n'y a pas de mesure.

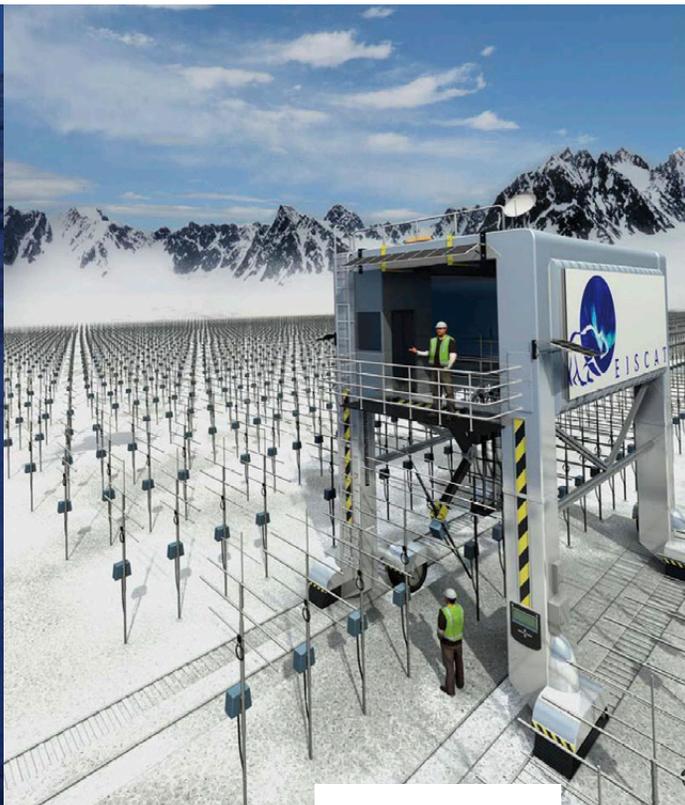
Pour améliorer notre compréhension de l'ionosphère polaire et la façon dont elle réagit aux stimuli du vent solaire, nous nous dirigeons vers l'élaboration d'un nouveau système de radars encore plus performant : EISCAT 3D. Ces radars

de nouvelle génération n'auront pas l'aspect d'une grosse parabole mais seront constitués de milliers de petits émetteurs-récepteurs qui couplés entre eux donneront une surface émettrice-réceptrice équivalente bien plus grande. De plus, ce nouveau système nous permettra d'affiner nos observations avec des résolutions spatiales et temporelles au moins 10 fois meilleur.

Prévoir les orages magnétiques

leurs, et nous donnera la possibilité de sonder plusieurs zones ionosphériques simultanément, ainsi que de faire des mesures volumétriques en 3D. Après une étude de faisabilité qui a duré 4 ans et qui s'est achevée au printemps 2009, le projet est maintenant dans sa phase préparatoire jusqu'en septembre 2014. Sous réserve que le budget nécessaire à sa construction soit bouclé, la construction d'EISCAT 3D débutera en 2016 pour une mise en service à l'horizon 2018.

Nos travaux sur l'ionosphère polaire trouvent aussi une application dans la compréhension de la réponse des environnements spatiaux



EISCAT

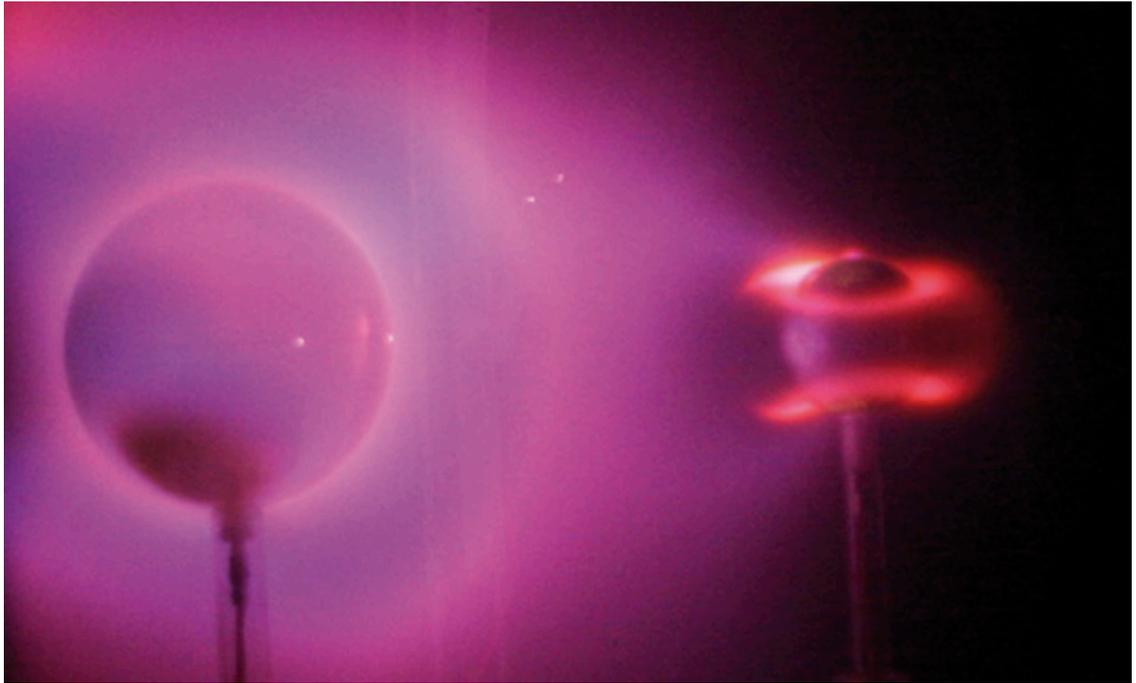
terrestres et planétaires aux événements solaires extrêmes. En effet, lors d'éjections de « masse coronale » (*Coronal Masse Ejection* en anglais, ou CME), éruptions solaires violentes qui éjectent des milliards de tonnes de particules énergétiques dans l'espace, le couple magnétosphère-iono sphère réagit de manière tout aussi violente, ce sont les orages magnétiques. Dans ces conditions extrêmes, des quantités phénoménales de particules pénètrent dans l'ionosphère, même à de basses latitudes où des aurores peuvent alors être vues. Mais les relations Soleil-Terre ne se résument pas uniquement aux merveilleuses émissions aurorales, loin de là. Certains effets de l'activité solaire sont bien moins sympathiques. Même si ces orages ne constituent pas le seul thème de recherche et sans sombrer dans le catastrophisme, il faut savoir qu'ils peuvent avoir des effets sur l'activité humaine et donc sur notre vie de tous les jours : perturbations des propagations d'ondes radio dans l'ionosphère, dommages sur les satellites de communications, surtensions possibles dans les réseaux électriques des pays circumpolaires, menace létale pour les spatonautes, etc.

L'idéal serait de pouvoir prévoir ces événements

et nous y travaillons. Ainsi, tout comme la météorologie prévoit le temps qu'il fera, une jeune science, la météorologie de l'espace, essaie de prédire les conditions de l'environnement spatial terrestre en fonction de l'activité solaire, en particulier lors d'orages magnétiques, mais la tâche s'annonce particulièrement ardue. D'abord parce que nous sommes à l'heure actuelle totalement incapables de prédire l'activité solaire. Nous savons que le Soleil a un cycle d'activité de 11 ans au cours duquel son champ magnétique s'inverse. Pendant la phase d'inversion, son activité augmente. C'est le maximum solaire : son champ magnétique est très perturbé ; sa surface, la photosphère, comporte plus de taches sombres à sa surface ; les éjections de particules sont plus fréquentes et violentes. En revanche, les signes précurseurs des CME sont encore mal connus (tout comme les signes avant-coureurs des tremblements de Terre par exemple). Même à partir d'observations du Soleil, nous avons toutes les peines du monde à appréhender par avance et avec précision les effets correspondants sur l'environnement terrestre. Ainsi, à partir d'observations d'une éruption solaire à un instant donné,

UNE STATION DE METEO SPATIALE EN NORVÈGE.

L'installation de milliers de petits émetteurs-récepteurs couplés prévue dès 2016 pour une mise en service à l'horizon 2018 du radar EISCAT 3D dont la résolution spatiale et temporelle sera 10 fois supérieure à celle des radars actuels.



OBSERVATOIRE DE GRENOBLE / UJF

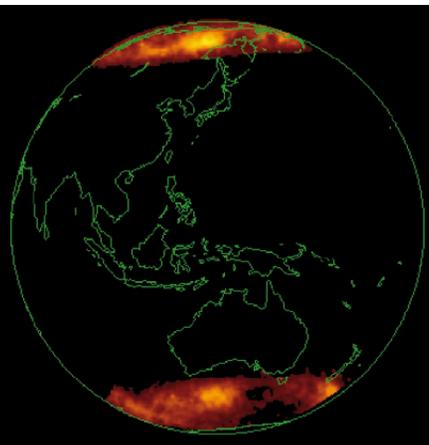
« PLANÈTERRELLA », DES AURORES EN LABORATOIRE.

En 1896, le scientifique norvégien Kristian Birkeland, imagine une expérience pour reproduire des aurores en laboratoire : le Soleil, source d'électrons, est remplacé par un canon à électrons et la Terre par une boule métallique dans laquelle il place un aimant. Il installe le tout dans une enceinte dans laquelle il fait un vide partiel et observe que les électrons émis par le canon sont effectivement guidés par le champ magnétique de la boule, produisant deux ovales lumineux (en rose foncé) autour des deux pôles magnétiques de la boule, tout comme sur Terre. Ce dispositif a été adapté pour étudier les interactions entre une étoile et une planète, quelque soit la configuration magnétique de cette dernière.

nous pouvons tout au plus espérer (ou craindre) que dans les quelques dizaines d'heures qui suivent, l'environnement terrestre en subira les conséquences. Par contre, l'ampleur de ces conséquences ne peut être prévue qu'après analyse des propriétés de la perturbation dans le vent solaire par des sondes qui sont très proches de la Terre, ce qui ne laisse que très peu de temps pour réagir. Comme nous pouvons le voir, nous n'en sommes véritablement qu'aux balbutiements de la météo spatiale mais cette discipline constitue assurément un des grands défis des prochaines années. ■

UN PHÉNOMÈNE BIPOLAIRE

Les aurores polaires illuminent les deux pôles de la Terre car le champ magnétique terrestre est dipolaire avec deux pôles magnétiques situés près des deux pôles géographiques de notre planète.



NASA

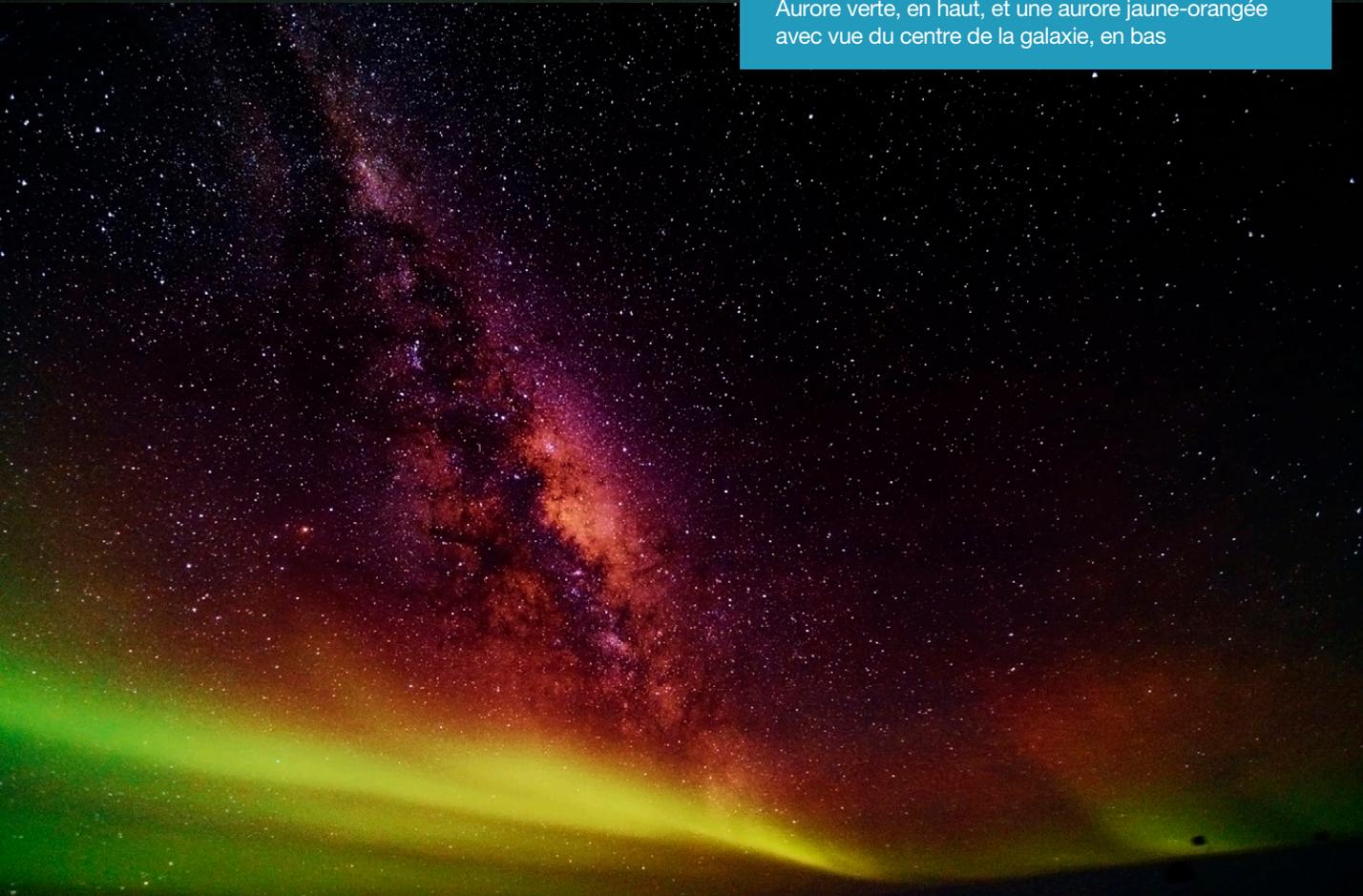
Pour en savoir plus

- C. Savage, Les aurores boréales ou les lumières mystérieuses, édition Trécarré, 2002
- J. Liliensten et P.-L. Blelly, Du Soleil à la Terre, aéronomie et météorologie de l'espace, Presses Universitaires de Grenoble, 1999
- J. Liliensten et J. Bornarel, Sous les feux du Soleil, vers une météorologie de l'espace, Presses Universitaires de Grenoble, 2001



AUROS AUSTRALES À LA STATION PÔLE SUD

Aurore verte, en haut, et une aurore jaune-orangée avec vue du centre de la galaxie, en bas



L'aurore polaire, signature des caprices du Soleil



www.lecerclepolaire.com