

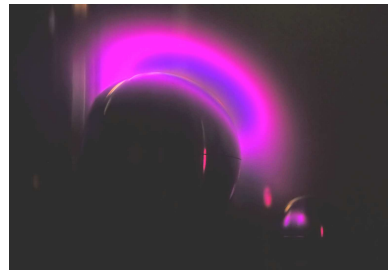
Les aurores martiennes

Jean Lilensten,⁽¹⁾ François Leblanc⁽²⁾ et Olivier Witasse⁽³⁾

Les aurores polaires sur Terre sont dues aux interactions de l'atmosphère avec les particules du vent solaire qui sont piégées dans le champ magnétique terrestre (aurores boréales et australes). Mars ne possède pas de champ magnétique dipolaire. Mais alors ...

Le Soleil est une étoile, c'est-à-dire un astre qui produit son énergie grâce à la fusion thermonucléaire. Il émet un rayonnement électromagnétique dont la lumière visible est la partie la plus familière et perd une partie de sa masse via un flux permanent d'électrons et d'ions. Cette expulsion a été nommée "vent solaire" par Parker, en 1959. Au niveau de la Terre, il est composé en moyenne de 5 ions et de 5 électrons par centimètre cube, et sa vitesse moyenne est de 370 km/s.

De façon sporadique, avec des périodicités allant de la dizaine d'années à quelques heures, le Soleil est le siège de phénomènes éruptifs. Ces éruptions peuvent prendre naissance près de sa surface ou dans sa haute atmosphère, sa "couronne". Dans ce dernier cas, on parle d'éjection de masse coronale. La matière ainsi libérée voyage dans l'espace interplanétaire, et rencontre éventuellement une planète. Si la planète possède une atmosphère, de nombreuses interactions ont alors lieu : chauffage et transformations physiques ou chimiques le plus souvent à haute altitude (au dessus de 900 km sur Titan, de 90 km sur Terre, de 100 km sur Vénus etc.). Si, de surcroît, la planète possède un champ magnétique, des phénomènes supplémentaires apparaissent. Les particules électrisées qui engendrent un courant électrique sensible au champ magnétique, sont conduites au gré d'un parcours compliqué, à se déposer dans l'atmosphère. Avec un axe magnétique comme ceux de la Terre, Jupiter ou Saturne, grossièrement perpendiculaires au plan de l'écliptique, ce dépôt se produit sur deux couronnes centrées autour des pôles magnétiques nord et sud. En Europe, cet "ovale auroral" surmonte la Laponie. Comme pour de la pluie ou de la neige, on parle de précipitations pour les particules précipitées qui, rapides, heurtent la haute atmosphère. Cette dernière s'excite de diverses manières (vibrationnelle, rotationnelle, électronique etc.), s'ionise, puis rend éventuellement l'énergie reçue sous forme de lumière : ce sont les aurores polaires, boréales au nord et australes au sud.



Simulation de phénomènes auroraux grâce à "la planetarella" mise au point par J. Lilensten. Crédit photo : C. Simon ESTEC/LPG

Lorsque les planètes ont un champ fortement incliné par rapport à l'écliptique, des ovales auroraux existent probablement, mais une partie du vent solaire s'engouffre directement le long des lignes de champ ouvertes sur l'espace pour créer une tache aurorale au pôle magnétique côté jour. Pour Vénus, qui n'a pas de champ magnétique, le vent solaire s'engouffre directement dans la haute atmosphère et crée des intensifications du rayonnement par excitation collisionnelle. Mais il s'agit là d'un phénomène différent de celui des aurores polaires terrestres.

Puisque la présence d'un champ magnétique est nécessaire à la formation d'aurores, il n'était pas envisagé que Mars puisse être le siège de phénomènes auroraux jusqu'à ce que ...

En novembre 1996, après presque deux décennies d'échecs, la NASA et le Jet Propulsion Laboratory (États-Unis) envoient la sonde Mars Global Surveyor vers la planète rouge. Parmi les expériences à bord, se trouve le magnétomètre MER (magnétomètre /réflectomètre à électrons). Grâce à ce qui avait d'abord paru un problème d'aérofreinage, cette sonde a pu effectuer des mesures à une altitude plus basse que celle initialement prévue, et en particulier en dessous de l'ionosphère martienne. Le 15 septembre 1998, les données de MER ont permis de mettre en évidence la présence claire d'un champ magnétique intense dans certaines régions de la planète. Ces observations témoignent que Mars a eu, probablement dans le premier milliard d'années de son existence, un champ magnétique interne dipolaire, comparable à celui de la Terre. En effet, là où le sol est ferro ou para-

¹Laboratoire de Planétologie de Grenoble,

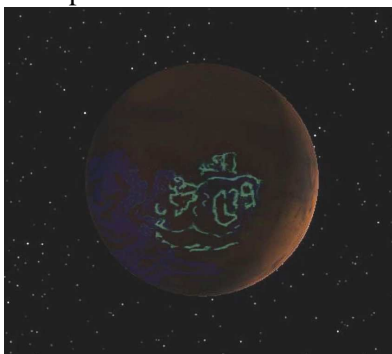
²Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales - CNRS/IPSL, actuellement à Osservatorio Astronomico di Trieste, Italy

³Agence Spatiale Européenne - ESTEC, RSSD, Noordwijk, Hollande

magnétique, l'aimantation est restée forte après l'extinction du champ dipolaire. Ces champs magnétiques rémanents sont appelés, de façon un peu étrange, des "anomalies magnétiques". Elles n'ont bien sûr rien d'anormal !

Mars se retrouve donc dotée à la fois d'une atmosphère ténue, et d'un champ magnétique local. On se doute bien que des aurores pourraient s'y produire. Son atmosphère est constituée essentiellement de monoxyde et de dioxyde de carbone, qui rayonnent surtout dans l'ultraviolet lorsqu'ils sont excités par le Soleil. Il y a bien, à haute altitude, un peu d'oxygène atomique, dont les rayonnements rouge et vert sont bien connus dans les aurores terrestres. Cependant, un tel rayonnement visible n'a jamais été observé sur Mars, ce qui conduit à penser qu'il n'y a pas d'aurore martienne.

A quelques années de là, en juin 2003, l'Agence Spatiale Européenne envoie Mars Express, construit avec une rapidité record après l'échec de la sonde européenne Mars 96. A bord, l'instrument SPICAM (Spectroscopy for the Investigation of the Characteristics of the Atmosphere of Mars) est un spectromètre de facture française qui observe le rayonnement de l'atmosphère dans l'ultraviolet. La sonde est faite de telle sorte que pour utiliser SPICAM, il faut orienter le satellite selon un pointage qui rend difficile l'utilisation d'autres instruments. Pour les programmeurs de la mission, il s'ensuit un jeu subtil de recherche du meilleur compromis entre les objectifs scientifiques de chacun des instruments et des possibilités d'observation offertes durant chaque orbite de Mars Express. Il faut donc quelques mois pour SPICAM avant de pouvoir effectuer ses premières observations du côté nuit de la planète. Lors d'une de ces premières observations, SPICAM découvre tout d'abord l'émission de la haute atmosphère nocturne martienne essentiellement similaire aux émissions de la nuit de Vénus. Puis, quelques semaines plus tard, SPICAM observe au dessus des anomalies magnétiques une émission ponctuelle et spectralement très différente de l'émission de la haute atmosphère nocturne martienne. L'équipe de



*Carte des aurores martiennes réalisée par Fr Leblanc et ses collaborateurs.
Crédit photo : ESO-CNRS*

SPICAM identifie immédiatement en particulier des raies d'émission du monoxyde de carbone, les bandes de Cameron, entre 180 et 240 nm et une raie intense de l'ion dioxyde de carbone à 289,7 nm.

Ces raies d'émission sont typiquement observées du côté jour de Mars mais sont inattendues du côté nuit. Autre surprise, la zone d'émission, à une altitude de 130 kilomètres, mesure seulement 30 kilomètres de large et se situe très exactement au dessus d'une des régions de champ magnétique rémanent les plus intenses identifiées par Mars Global Surveyor.

Le responsable de SPICAM, J.L. Bertaux du Service d'Aéronomie, se doute qu'il s'agit d'un phénomène auroral, c'est-à-dire une émission produite par la précipitation de particules énergétiques dans la haute atmosphère martienne. Il souhaite, avant de publier, une confirmation théorique. Mais il existe très peu de modèles informatiques capables de calculer les rayonnements auroraux. Par chance, l'un d'entre eux a été développé en France. Il a été longtemps utilisé pour décrire les aurores terrestres, et justement, un jeune doctorant du Laboratoire de Planétologie de Grenoble vient de l'adapter au cas martien. Le calcul montre que toutes les intensifications du rayonnement se modélisent bien en tenant compte d'électrons du vent solaire avec des énergies typiques de quelques centaines d'électron volts. La découverte ne fait plus de doute, et sort dans le journal Nature en 2005 : Mars entre dans la famille des planètes aurorales !

Bibliographie :

- Bertaux, J.L., F. Leblanc, O. Witasse, E. Quemerais, J. Lilensten, S. A. Stern, B. Sandel and O. Korabely, Discovery of Aurora on Mars, *Nature*, **435**, p 790-794, 2005, doi 10.1038
- Leblanc F., Chaufray J.Y, Lilensten J., Witasse O. and Bertaux J.-L., The Martian dayglow as seen by SPICAM UV spectrometer on Mars Express, *J. Geophys. Res.*, **111**, No. E9, E09S11, 10.1029/2005JE002664, 2006
- Leblanc, F., O. Witasse, J. Winningham, D. Brain, J. Lilensten, P.-L. Blelly, R. A. Frahm, J. S. Halekas, and J. L. Bertaux, Origins of the Martian aurora observed by Spectroscopy for Investigation of Characteristics of the Atmosphere of Mars (SPICAM) on board Mars Express, *J. Geophys. Res.*, **111**, A09313, doi:10.1029/2006JA011763., 2006
- Leblanc F, Witasse O., Lilensten J., R. A. Frahm, Ali Safaenili, D. A. Brain, J. Mouginot, H. Nilsson, Y. Futaana, J. Halekas, M. Holmström, J.L., Observations of aurorae by SPICAM UVS on board Mars Express: simultaneous ASPERA-3 and MARSIS measurements, *J. Geophys. Res.*, **113**, A08311, DOI 10.1029/2008JA013033, 2008
- Jean Lilensten, Mathieu Barthélémy, Cyril Simon, Philippe Jeanjacquot, La Planeterrella, une expérience pédagogique en planétologie et physique des plasmas, *Bull. Un. Phys.*, **102**, 799-816, 2008

www-lpg.obs.ujf-grenoble.fr/Planeterrella-du-nouveau