

LES EXTRAORDINAIRES ÉRUPTIONS SOLAIRES DE 1859 : LEURS CONSÉQUENCES SUR LE TÉLÉGRAPHE ÉLECTRIQUE

Christian Muller
B.USOC

Résumé

Entre le 28 août 1859 et le 7 septembre, une succession de taches solaires provoqua des perturbations magnétiques générales, des aurores polaires visibles jusqu'aux tropiques et perturba considérablement le fonctionnement du télégraphe. La mesure d'ozone de l'époque dépassa les valeurs maximum jamais observées. Le 1^{er} septembre 1859, l'astronome Carrington observa directement une éruption solaire sur le disque solaire, cette observation n'a pas encore été renouvelée. L'intention de cet article est de décrire cet épisode appelé maintenant « évènement de Carrington » et de tenter de conclure à la capacité des moyens actuels à résister à un tel évènement. Dans la mesure du possible, les sources d'époque ont été utilisées.

Introduction : le réseau télégraphique du XIX^e siècle et le développement de l'électromagnétisme

Comme beaucoup d'inventions de l'époque, le télégraphe électrique fut développé par plusieurs inventeurs indépendants simultanément à l'établissement du réseau ferroviaire. Le premier télégraphe opérationnel fut celui de Wheatstone en Angleterre à partir de 1837 tandis qu'une conception plus stable alliée à un meilleur codage du signal commença à se développer avec Morse aux États-Unis pour un premier réseau en 1844.

En Belgique, Quetelet expéri-

menta le système Wheatstone à l'Observatoire Royal (Quetelet, 1840). Ce système fonctionna suivant diverses formes : système Bréguet pour la liaison Paris-Bruxelles et système de l'ingénieur Polydor Lippens d'Eeklo pour les liaisons internes. Quetelet (1840) indique qu'une liaison télégraphique Ostende-Douvres était déjà en fonctionnement.

Le système de Morse était déjà dominant en 1859. Ces inventeurs étaient des empiristes et ne comprenaient pas du tout l'origine des oscillations et des pertes de signal observées. Les communications étaient fréquemment interrompues et très lentes. Un message de trois cents mots constituait une performance. Avant 1859, deux tentatives de communication transatlantique avaient d'ailleurs déjà échoué. Les évènements décrits dans cet article amenèrent le mathématicien Maxwell à s'intéresser à l'électromagnétisme mais la publication de ses fameuses équations en 1864 eut très peu d'influence avant la rencontre de Maxwell et de Heaviside en 1873 qui conduisit ce dernier à reformuler la théorie. Heaviside l'appliqua, introduisit des bobines d'induction sur les lignes et inventa le câble coaxial. Malheureusement pour la science, le télégraphe devint beaucoup plus sûr et l'historique des perturbations cessa vers 1875. Heaviside était le neveu de Wheatstone et avait préféré à 16 ans travailler comme opérateur télégraphique. Sa formation lui venait principalement de ses lectures et de ses contacts. Maxwell

était par contre au sommet de la carrière académique. Heaviside à la fin de sa vie s'intéressa à la radiopropagation et fut le premier à considérer l'ionosphère. Ses observations durent attendre Appleton, Chapman et Nicolet pour être expliquées.

Le réseau télégraphique de Wheatstone fut le premier à être affecté par une aurore boréale en 1847 (Barlow, 1849). Le 19 mars 1847, une aurore visible dans les East-Midlands perturba les télégraphes en induisant des courants dans les câbles. Plus tard et à deux reprises, Barlow put prédire des aurores en observant l'apparition des perturbations sur le télégraphe. Heureusement, en plus d'être ingénieur en chef des *Midlands Railroads* et un observateur très précis, Barlow était aussi apparenté à un membre de la Royal Society, ce qui assura la publication de ses observations. Du côté américain, le réseau télégraphique se développa plus vite car le réseau de chemin de fer à longue distance commençait à s'y installer. Malgré la longueur des lignes, on ne relève pas d'observations américaines de perturbations aurorales avant 1859 dans la littérature scientifique.

La physique solaire au début du XIX^e siècle.

En 1859, les opérateurs des réseaux télégraphiques étaient donc déjà avertis de la possibilité de courants induits liés à l'activité aurorale. Du côté scientifique, ces premiers résultats montraient un

lien entre l'aurore et l'électricité mais celle-ci gardait pour beaucoup un caractère de phénomène météorologique lié au transport de particules électrisées. Une influence solaire n'apparaissait pas crédible et il était de bon ton de ridiculiser la publication de Herschel de 1801 établissant une corrélation entre l'activité solaire et les prix du blé. Herschel (1801) avait considéré les données de taches solaires entre la fin du XVII^e siècle et 1800 et, en raison de la fin du minimum de Maunder, n'avait pas identifié le cycle solaire de onze ans. Celui-ci ne devait être évident qu'à partir de Schwabe qui analysa les taches solaires entre environ 1820 et 1846. C'est dans ce contexte que l'astronome anglais Carrington débuta son étude des taches solaires à partir de 1851. Carrington assurait la fonction d'observateur à l'observatoire de l'université de Durham. Ce dernier n'étant ni financé ni équipé, Carrington entreprit dès lors de construire à Redhill son propre observatoire pour lequel il dut chercher des financements pendant la totalité de sa vie active. En

1851, il observa l'éclipse totale de Soleil en Scandinavie à partir de Lilla Edet, (Carrington, 1852). Il y observa des protubérances solaires. L'expédition comportait de nombreux sites d'observation et tous rapportèrent l'observation de « flammes » dans la couronne. Pour Carrington, il s'agissait déjà de phénomènes solaires alors que d'autres observateurs attribuent encore ces phénomènes à la Lune. Carrington fut par la suite très amer de voir l'Université de Cambridge dont il était issu, et même l'Astronome Royal Airy, préférer des mathématiciens aux observateurs pour l'attribution des fonctions suffisamment dotées. Il bénéficia cependant d'un soutien de poids : le général Sabine, membre et plus tard président de la Royal Society. Celui-ci avait accompagné plusieurs expéditions arctiques en temps qu'astronome avec pour objectif d'établir des relations entre le magnétisme, les aurores boréales et les phénomènes électriques. Pour des raisons pratiques liées à la navigation, on espérait encore déterminer les longitudes à partir de mesures magnétiques. Le duc

de Wellington l'avait dès lors mis en congé de ses obligations militaires pour coordonner un réseau d'observatoires géomagnétiques en 1827. Ces travaux amenèrent Sabine à publier en même temps que l'astronome suisse Wolf en 1852 la corrélation entre les indices géomagnétiques et le cycle de onze ans découvert par Schwabe dans les taches solaires. Sabine ne pouvait donc qu'être intéressé par une étude systématique des phénomènes solaires et le soutien de la Royal Society permit à Carrington de caractériser la rotation solaire et d'en déterminer l'axe. Sabine fit en sorte qu'il y eut une liaison quasiment opérationnelle entre les observations de Carrington et le réseau géomagnétique. Sabine resta militaire toute sa vie. Il reprit plusieurs fois son commandement, notamment à l'occasion de la répression de troubles en Irlande, et il n'existe pas de traces de sa part de tentative d'exercer une fonction universitaire.

Après 1858, la mort du père de Carrington lui imposa de reprendre la brasserie familiale mais il continua à observer et à s'intéresser à la physique solaire.

L'observation du premier septembre 1859.

L'année 1859 était une année de maximum d'activité solaire et des aurores spectaculaires avaient été déjà observées en avril. Lors d'éclipses de Soleil, on avait déjà pu observer des protubérances solaires. La notion d'éruption solaire était donc déjà connue. Des aurores et des taches solaires ayant commencé à se manifester dès le 28 août 1859, tous les observateurs étaient très attentifs à l'évolution des taches. Le 1^{er} septembre 1859, peu avant midi local, Carrington observait un groupe de taches lorsque deux points, au lieu d'être sombres, montrèrent

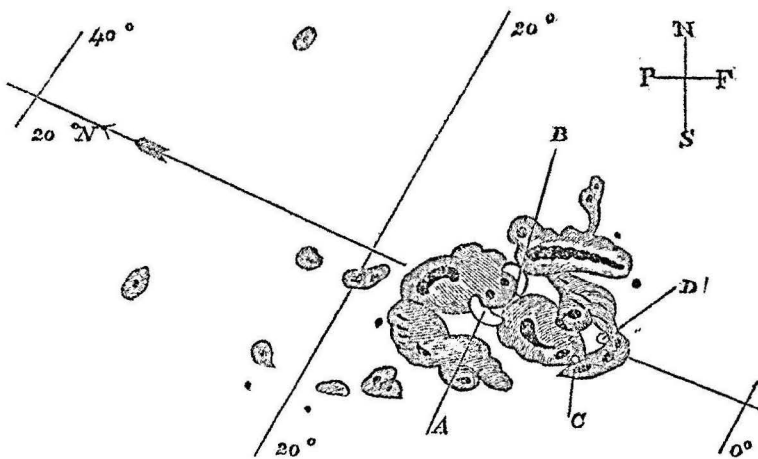


Fig.1 : L'observation solaire de Carrington le premier septembre, 1859. Les zones sombres correspondent à des taches ; les zones A et B correspondent au contraire à une forte augmentation de la luminosité. Cette observation a persisté pendant plusieurs minutes ; elle reste toujours unique. (Carrington, 1859).

une augmentation de luminosité qu'il compara à l'apparition d'une étoile très lumineuse à la surface du Soleil. Une observation simultanée par un observateur indépendant confirma la scène. Les deux observations sont décrites dans une publication à la Royal Society (Carrington, 1859). De plus l'observation se corrélait parfaitement avec une tempête magnétique dont la description est donnée par Sabine (1862). Cette observation reste jusqu'à présent unique, les éruptions solaires étant habituellement observées à l'aide de moyens optiques lors d'éclipses ou, depuis le milieu du XX^e siècle, au moyen du coronographe. Avec les moyens modernes (CCD), on observe très rarement des éruptions blanches, celles-ci étant très petites et brèves. Le phénomène observé par Carrington fut accompagné par une suite inégalée d'observations aurorales, y compris à partir de stations équatoriales.

Conséquences de l'évènement de Carrington.

Quételet (1859), à Bruxelles, donna une description détaillée des conséquences de l'évènement, à partir de l'observation des aurores boréales de la nuit du 28 août en plein Schaerbeek. La station de télégraphie de la gare du Nord commença simultanément à recevoir des signaux aléatoires comme « ceux que l'on constate en temps orageux ». Tous les bureaux belges furent réveillés par les cloches annonçant des messages à l'étonnement des opérateurs tandis que la liaison Ostende-Douvres ne put être rétablie que trois heures après le début des perturbations en doublant le force des batteries. Quételet décrit les perturbations magnétiques mais ne fait pas mention d'observations solaires. La meilleure description des conséquences sur le réseau télégraphique est donnée par l'analyse

américaine effectuée par Prescott (1860) sur une dizaine de stations, certaines d'entre elles ayant été affectées par des courants induits suffisants pour enflammer le papier mais la promptitude des opérateurs ayant évité des dégâts majeurs. De nouveau, si l'aurore a été vue partout, personne n'indique de phénomène solaire.

Les aurores de 1859 ont fait l'objet de plusieurs dizaines de communications dans les Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris. Deux diffèrent de ce qui a déjà été décrit : l'une (Lartigue, 1859) décrit simultanément l'aurore du 28 août et l'absence de perturbations sur la station télégraphique de Noyelles-sur-Mer, celle-ci étant restée en communication avec Abbeville et Rue, deux stations situées à moins de trente kilomètres, sans subir aucune perturbation. L'autre porte sur la mesure de l'ozone (Bérigny, 1859). La technique utilisée à l'époque était celle d'un papier réactif et cette mesure paraît in-

diquer pendant l'aurore la présence d'un maximum d'oxydants, ce qui est contradictoire avec les conditions de nuit habituelles.

Cette observation chimique corrobore la possibilité d'identifier ce type d'évènements par l'analyse des couches de nitrates (formées par l'élimination des oxydes d'azote) dans les carottes glaciaires. Malheureusement, une publication récente indiquant la présence de couches sans relation avec des évènements solaires, cette technique ne sera tout à fait effective que lorsqu'on aura été capable d'identifier et de dater toutes les causes de ces couches (volcaniques, feux de forêt, tempêtes des sables dans les déserts riches en nitrates...) (Wolff et al., 2012). Cette dernière publication réduit donc à néant l'affirmation selon laquelle l'évènement de Carrington se produit une fois tous les 500 ans. On peut seulement affirmer qu'il est unique dans la période 1850-2011.

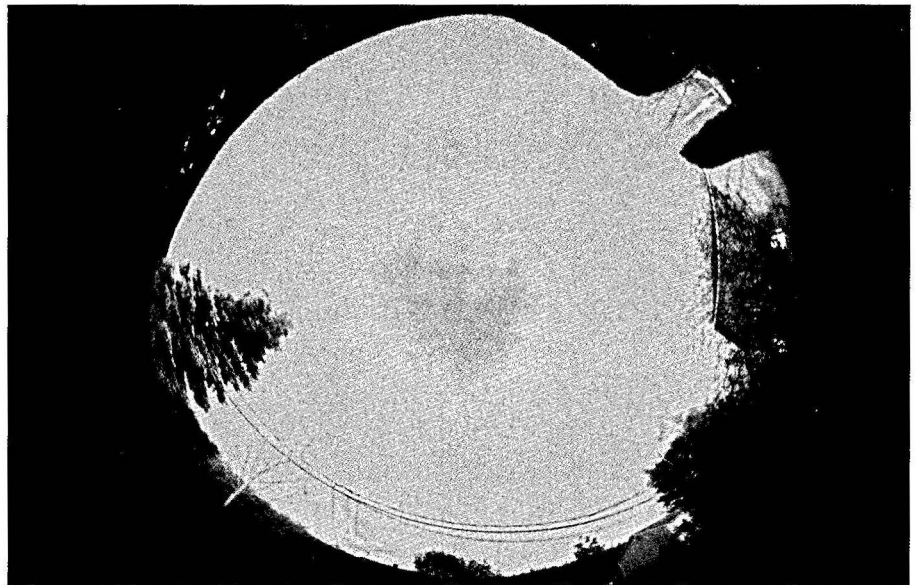


Fig.2: Observation d'une aurore s'étendant à tout le ciel à partir de Québec le 30 octobre 2003. Contrairement à la situation habituelle, les évènements majeurs produisent des aurores s'étendant sur tout l'horizon. Cet évènement de Halloween 2003 a été la cause de la perte du satellite d'observation de la Terre ADEOS-2. (Photographie argentique de Philippe Moussette) <http://epod.usra.edu/blog/2003/11/full-sky-aurora.html>).

Analyse des conséquences économiques de l'évènement de 1859.

Les perturbations du réseau télégraphique à longue distance n'ont duré que quelques heures et le fonctionnement habituel a repris dès le matin du 29 août. L'activité économique la plus sensible à l'époque était probablement la presse internationale. Le « Journal des Débats », par exemple, était lu non seulement à Paris mais dans toutes les chancelleries d'Europe pour la qualité de ses informations et de ses analyses. L'examen des numéros de ce journal durant les jours concernés fait mention des aurores du 28 en reproduisant un article présenté aux « Comptes rendus de l'Académie des sciences » dans le numéro du 31 août mais ne parle pas de perturbations sur les communications. Ce journal utilise cependant systématiquement les dépêches télégraphiques de ses correspondants. Par exemple, l'édition datée du 30 donne le relevé des pressions et températures le 29 à 7h pour les mêmes

stations que d'habitude en France et à l'étranger. Ceci montre que les opérateurs du réseau ont pu apporter des remèdes à la situation. Le numéro du 1^{er} septembre indique que la même aurore (du 28) a été observée dans plusieurs villes de France et mentionne le fait que la seule perturbation télégraphique annoncée correspond à un arrachage de fils lors d'un accident de chemin de fer. La technique utilisée à l'époque pour transmettre un message consistait pour l'émetteur à envoyer un signal indiquant un début de transmission. Le récepteur réagissait à la cloche et renvoyait un signal indiquant qu'il était prêt. A ce moment, la transmission pouvait commencer. A la fin du message, le récepteur accusait bonne réception. En cas de problème, le message était renvoyé. Le réseau remplissait donc sa fonction, avec un délai peut-être, mais le message passait infiniment plus vite que par courrier express. La perturbation principale notée par les opérateurs la nuit du 28 août fut la mise en route intempestive des cloches d'alarme ; les incen-

des et les surtensions apparurent surtout du côté américain où les lignes étaient plus longues. La procédure des opérateurs était alors d'augmenter la puissance des batteries de manière que le signal soit plus fort que le parasite, ce qui ne s'appliquait pas à un courant induit en permanence. Il aurait mieux valu que les opérateurs mettent le réseau à la terre et redémarrent en ordre après la disparition de la perturbation. On ne peut que constater le fait que ni le matériel ni les procédures n'étaient identiques d'une station à l'autre.

Influence d'un évènement semblable sur la société électronique de 2012.

Après 1875 et la diffusion des équations de Maxwell, le matériel électrique se standardisa et l'on vit l'apparition de différents dispositifs électro-mécaniques comme les relais, les programmeurs à taquets, les disjoncteurs. Les courants étant forts, les séquences lentes et donc les systèmes électriques quasi insensibles aux perturbations, l'usage de la radiopropagation et des lampes diodes et triodes devait changer cette situation en introduisant l'influence de l'ionisation atmosphérique sur un signal beaucoup plus rapide, les lampes permettant des cadences plus fortes que les dispositifs électromécaniques. La radiopropagation devait conduire à l'étude de l'ionosphère et à celle de l'influence solaire. Dans la seconde moitié du XX^e siècle, l'apparition des semi-conducteurs a permis des systèmes électroniques fonctionnant sur des courants faibles, miniaturisés et chaque année plus rapides. Une grande partie des efforts technologiques qui ont suivi a visé à accroître leur résistance aux perturbations extérieures, en considérant à la fois les rayonnements naturels solaires et cosmiques et les éclairs, ainsi que

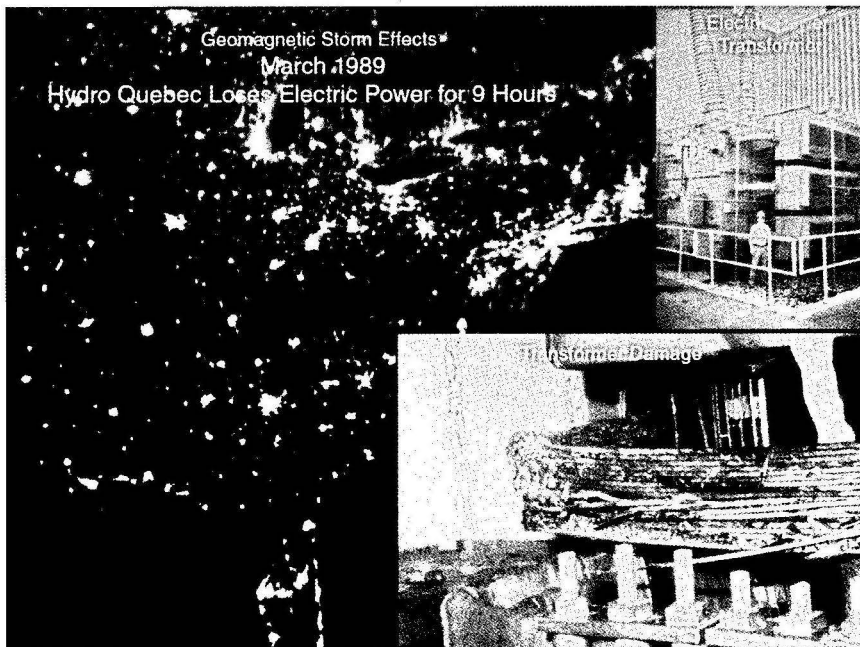


Fig. 3: Illustration des dégâts générés par la tempête géomagnétique de mars 1989. Cette tempête a entraîné une coupure d'électricité d'environ 9 heures au Québec. (Rodney Viereck, NOAA Space Environment Center, "Space Weather: What Is It? How Will It Affect You?," 2007).

des perturbations d'origine humaine y compris des explosions nucléaires. Ces développements sont encore en cours. Pendant toute cette époque, les seuls dégâts majeurs au sol liés à l'activité géomagnétique ont été reliés à la perturbation apportée par les courants induits sur les lignes à haute tension. Celles-ci ont fait l'objet d'une étude récente de la National Academy of Sciences aux Etats-Unis (*Severe Space Weather Events—Understanding Societal and Economic Impacts, 2008*). Ce rapport étudie plusieurs cas et analyse la panne électrique de 1989 au Québec (Fig. 3).

Dans l'espace, ce rapport détaille les dégâts liés aux rayonnements solaires et cosmiques. Il étudie

aussi la perte du satellite d'observation de la Terre ADEOS-2 en novembre 2003. La vulnérabilité de la société actuelle y est détaillée sans pouvoir la quantifier car les paramètres des événements extrêmes ne sont pas connus. On peut noter qu'ENVISAT et la station spatiale internationale ont connu également l'« événement de Halloween » au début novembre 2003. Dans les deux cas, les précautions prises (mise des instruments en mode passif) ont permis aux satellites de survivre.

Une thèse récente (Kabatt, 2010) étudie l'impact de la météorologie spatiale sur les opérations militaires. La conclusion en est aussi que le risque ne peut pas être quantifié pendant un évène-

ment du type de celui observé par Carrington. Kabatt (2010) propose l'utilisation de prévisions de météorologie spatiale dans la planification des opérations militaires, au même titre que les données météorologiques habituelles, malgré l'observation de fait que les deux guerres du Golfe, conduites pendant des maximums solaires, n'ont pas tenu compte de ce risque.

Conclusion: évaluation du risque et précautions.

La première action est d'améliorer les prévisions, ce qui se fait maintenant en Europe par le portail européen de météorologie spatiale (<http://www.spaceweather.eu/>) hébergé à l'Institut d'Aéronomie

Références.

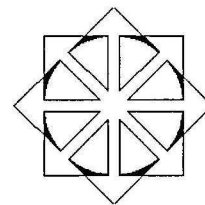
- Bérigny, A., *Proportion de l'ozone avant, pendant et après la période de l'influence de l'aurore boréale du 28 au 29 août*, Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences, 49,391-392, 1859.
- Barlow, W., *On the Spontaneous Electrical Currents Observed in the Wires of the Electric Telegraph*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 139:61-72, 1849.
- Carrington, R.C., *In The observations of the total eclipse of the Sun of July 21 1851*, Royal Astronomical Society's Memoirs, xxi, 1852
- Carrington, R. C., *Description of a Singular Appearance seen in the Sun on September 1, 1859*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 20, p.13-15, 1859.
- Committee on the Societal and Economic Impacts of Severe Space Weather Events—*Understanding Societal and Economic Impacts*, National Academy of Sciences, Washington, ISBN: 0-309-12770-X, 131 pages, 8 1/2 x 11, 2008.
- European Space Weather Portal (ESWeP), <http://www.spaceweather.eu/>
- Herschel, W., *Observations Tending to Investigate the Nature of the Sun, in Order to Find the Causes or Symptoms of Its Variable Emission of Light and Heat; With Remarks on the Use That May Possibly Be Drawn from Solar Observations*, Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 91, 265-318, 1801.
- Kabatt, B.W., *The Sun as a Non-state Actor: The Implications on Military Operations and Theater Security of a Catastrophic Space Weather Event*, Thesis, Naval War College, Rhode Island, 2010.
- Lartigue, H., *Aurores boréales observées à Noyelles-sur-Mer (Somme) la nuit du 28 au 29 août 1859*, Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences, 49,367-368, 1859.
- Prescott, G.B., *Observations made at Boston, Mass., and vicinity*, in Article on *The great auroral exhibition of August 28th to September 4th*, 1859, Amer. J. Science and Arts, 29, 92-97, 1860.
- Quételet, *Télégraphes Electriques*, Bulletin Acad. Roy. Sci. Belgique, 9, 131-134, 1840.
- Quételet., *Aurore boréale, perturbations magnétiques à l'observatoire et sur les lignes télégraphiques de l'Etat, Magnétisme et Aurore Boréale*, Hayez, Bruxelles, 1859.
- Wolff, E.W., Bigler, M., Curran, A.M., Dibb, J.E., Frey, M.M., Legrand, M., and McConnell, J.R., *The Carrington event not observed in most ice core nitrate records*, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 39, L08503, doi:10.1029/2012GL051603, 2012 (Publication électronique, la numérotation des pages sera bientôt disponible).

Spatiale. Les données concernant l'évolution des taches solaires et des autres indices solaires sont maintenant centralisées au SIDC (*Solar Influences Data Centre*) géré par l'Observatoire Royal de Belgique. La possibilité d'alerte existe donc et les systèmes les plus exposés peuvent être mis dans un mode plus sécurisé par les opérateurs. Par ailleurs, la qualité des composants électroniques étant

en constante amélioration et le rôle des longueurs d'onde moins sensibles aux perturbations augmentant (fibres optiques), amènent donc à une diminution progressive du risque par rapport à ce qu'il était au début de l'âge électronique.

Néanmoins, il s'avère toujours important de préparer une éventuelle crise future par des plans

appropriés en vue d'en atténuer les effets potentiels.



LE DRAPEAU AMÉRICAIN BAT TOUJOURS FIÈREMENT PAVILLON SUR LA LUNE !

La sonde LRO (Lunar Reconnaissance Orbiter), qui fêtait ses 1.000 jours en orbite lunaire au mois de mars dernier, est installée désormais sur une orbite basse située à une trentaine de kilomètres d'altitude, permettant de discerner des détails de 25 cm par pixel. Après avoir réalisé en 2011 une mosaïque géante (1.300 clichés) de la face visible puis une autre de la face cachée à l'aide de la WAC (Wide Angle Camera), LRO utilise désormais sa NAC (Narrow Angle Camera) pour dénicher des détails insoupçonnables à la surface de notre satellite naturel.

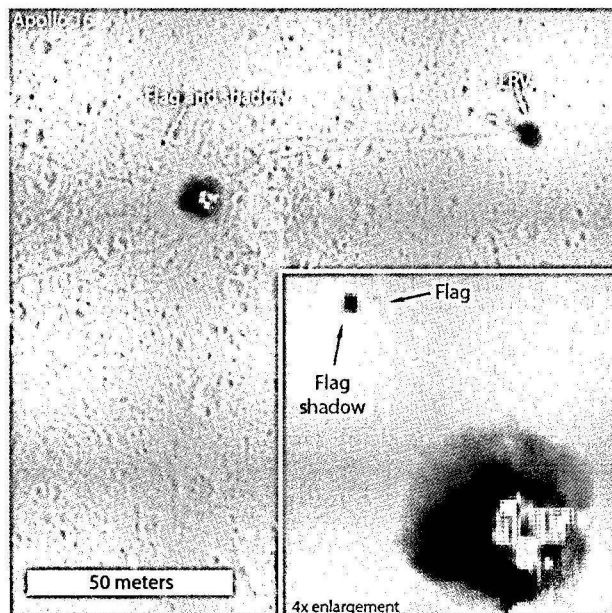
Rien de surprenant donc que LRO obtienne des images d'une qualité et d'une précision telles de la surface de notre Lune que l'on puisse y discerner un drapeau. Essais réussis ! Les images réalisées par la sonde des différents sites d'allunissage des missions Apollo ont en effet indiqué leur présence. Ceci devrait du même coup mettre à mal ceux qui contestent encore l'exploration de notre satellite naturel par les Américains dans les années 1970. En analysant les images des sites obtenues à différents moments de la journée, les scientifiques ont pu

observer leurs ombres tournoyant autour d'un point central qui ne pouvait être autre que le drapeau lui-même.

Les responsables de la caméra de LRO, ont été les premiers surpris de constater que ces drapeaux avaient résisté au rayonnement solaire ultraviolet qui frappe de plein fouet la surface de la Lune ainsi qu'aux très fortes amplitudes thermiques (de +130 °C à -150 °C). Rappelons au passage que faute de vent sur la Lune, le

drapeau américain était maintenu déployé grâce à une tige horizontale glissée dans la couture...

Certains espéraient voir le drapeau américain à côté d'Apollo 11, la première mission qui déposa des hommes sur la Lune en juillet 1969. Les images prises par LRO confirment cependant ce que l'astronaute Buzz Aldrin a toujours raconté : le drapeau a été soufflé par le gaz d'échappement du Lem lors de son départ.



Le drapeau (flag) et son ombre (shadow) sur le site d'Apollo 16, la mission qui posa sur la Lune les astronautes John Young et Charles Duke au mois d'avril 1972. Les traces des va-et-vient de la jeep lunaire sont toujours visibles (LRV, pour Lunar Roving Vehicle). © Nasa, GSFC, Arizona State University