

Qu'est-ce que le champ magnétique de la Terre ?

écrit par Professeur Tetenlair | 11 mai 2023





qu'est-ce qu'un

champ magnétique

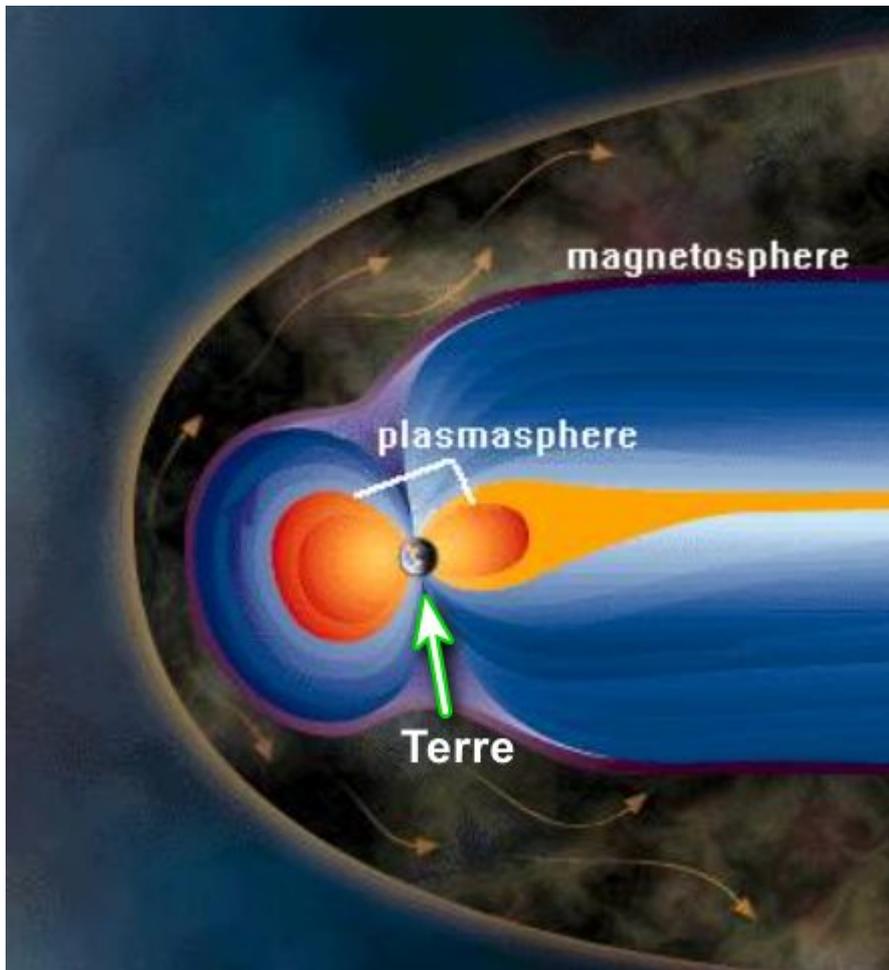


en astronomie ?

La Terre possède un champ magnétique global de grande échelle, appelé champ géomagnétique, qui s'étend sur **plusieurs dizaines de milliers de kilomètres dans l'espace environnant**. Ce champ est principalement généré par les lents mouvements de convection du métal liquide à l'intérieur du noyau terrestre.

D'autres sources contribuent au champ géomagnétique : certaines sont internes à la Terre, comme les roches aimantées de la croûte et les courants électriques circulant dans le sous-sol et les océans (et oui !) ; d'autres sont externes, comme les courants électriques circulant dans les couches ionisées de l'atmosphère et l'environnement spatial proche de la Terre.

Ce champ géomagnétique forme une « enveloppe », appelée magnétosphère, qui protège la Terre du flux de particules chargées en provenance du Soleil – le vent solaire (voir article sur RR de ton serviteur en [cliquant ici](#)) –, dont seulement une petite partie pénètre dans la magnétosphère.



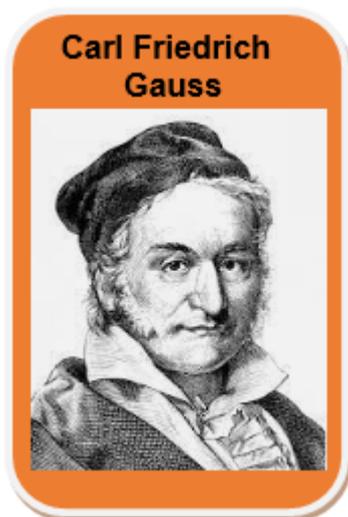
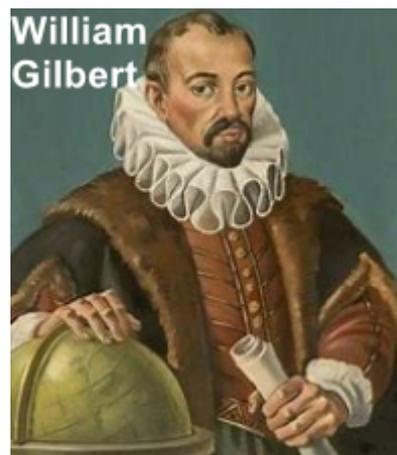
La science qui étudie le champ magnétique terrestre, le géomagnétisme, étudie les variations du spectre du magnétisme en échelles de temps et d'espace. Également le géomagnétisme essaie d'expliquer comment le champ géomagnétique se régénère depuis toujours. Au niveau des parties externes de la Terre le champ magnétique est mieux appréhendé car pouvant faire l'objet d'observation. Mais, amis passionnés, au centre de la terre l'observation est impossible. Et cependant le noyau général champ magnétique par un processus appelé « géodynamo ».

L'une des propriétés les plus fascinantes du champ magnétique terrestre est sa propension à s'inverser, c'est-à-dire à changer de polarité à l'échelle globale : le pôle Nord devient le pôle Sud et vice versa.

Ces inversions se produisent de manière irrégulière et imprévisible, en l'état actuel des connaissances. La dernière

inversion s'est produite il y a 780 000 ans (tu venais juste de naître, je pense...) et plusieurs centaines d'inversions ont été recensées au cours de l'histoire de la Terre. Certaines sont espacées de seulement quelques dizaines de milliers d'années, d'autres de plusieurs dizaines de millions d'années. Le paléomagnétisme (étude de l'aimantation des roches ou d'éléments archéologiques) a bien contribué aux connaissances de la magnétosphère.

Bien évidemment, depuis bien longtemps, le champ magnétique terrestre a très tôt suscité l'intérêt des scientifiques, d'abord en Chine, puis en Europe à partir du Moyen Âge. **En 1600, l'Anglais William Gilbert arriva à la conclusion que le comportement de la boussole résultait d'un effet magnétique de la Terre dans son ensemble.**

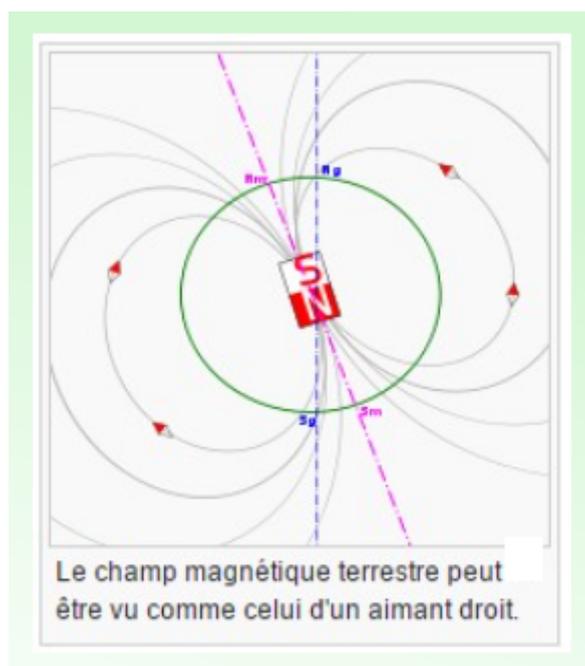


Un progrès décisif fut apporté à l'observation du champ magnétique terrestre par le mathématicien allemand Carl Friedrich Gauss en 1832. Il inventa une méthode **permettant de mesurer l'intensité du champ**. Le géomagnétisme entra alors dans une ère nouvelle. Il devint possible pour la première fois de mesurer toutes les composantes du vecteur champ magnétique en différents points à la surface de la Terre et d'utiliser ces mesures pour déterminer la structure globale du champ à l'aide d'une représentation mathématique, dite en *harmonique sphérique*.

Le champ géomagnétique est la superposition de plusieurs champs, générés par des sources différentes. Par conséquent, il est difficile d'interpréter une mesure isolée du champ

géomagnétique : quelle partie provient du champ magnétique du noyau, des courants de la croûte terrestre ou des courants électriques externes à la Terre ? Une approche couramment utilisée pour résoudre ce problème consiste à calculer une représentation mathématique du champ, appelée « modèle géomagnétique », séparant les contributions des différentes sources.

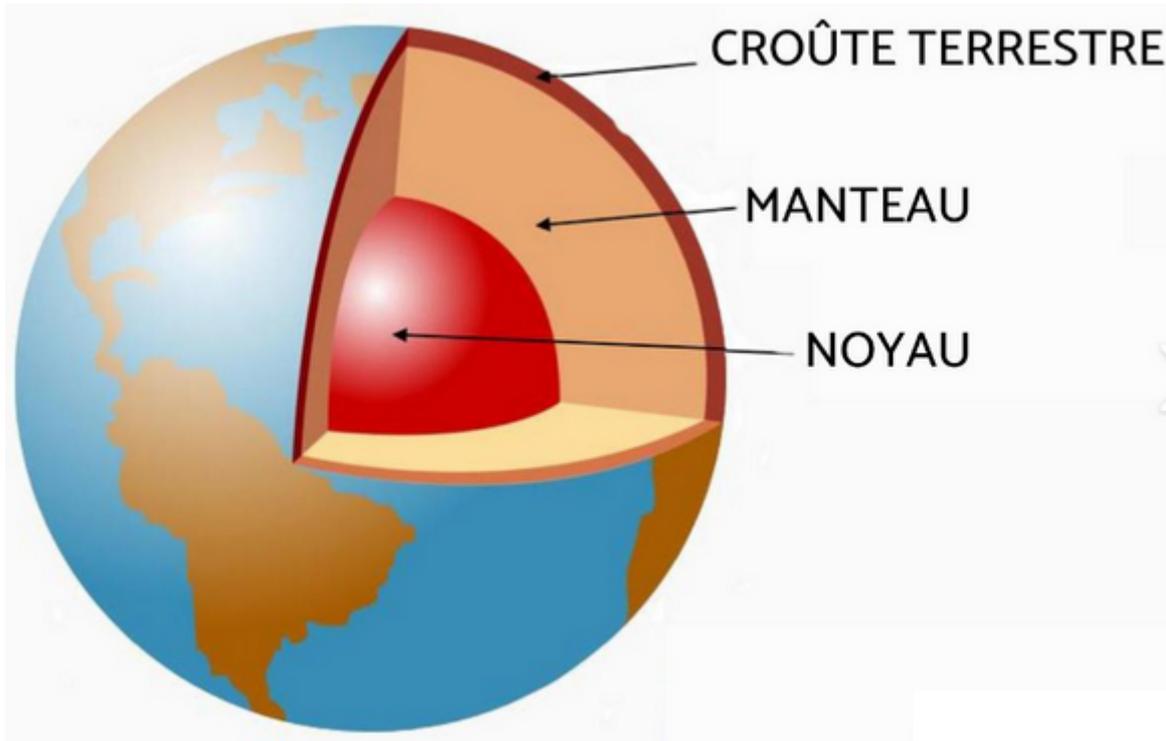
Le champ magnétique du noyau, appelé aussi champ principal, représente plus de 99 p. 100 du champ géomagnétique global de la Terre. En première approximation, le champ du noyau a une structure dipolaire et peut ainsi être comparé à celui d'un aimant « classique » qui serait placé au centre de la Terre avec un pôle Nord et un pôle Sud et serait incliné d'un angle d'environ 10° par rapport à l'axe de rotation de la Terre.



Le champ magnétique du noyau repose sur la théorie de la géodynamo : ce sont les mouvements convectifs de matière dans le noyau qui créent le champ. La variation séculaire (tous les 100 ans) n'a été observée en détail que sur une très courte fenêtre de temps par rapport à l'échelle de temps de la géodynamo, qui va jusqu'à plusieurs dizaines de millions d'années. La théorie de la géodynamo repose sur ces observations, très détaillées mais très courtes, et sur celles

du paléomagnétisme, beaucoup plus parcellaires mais remontant jusqu'à plusieurs milliards d'années.

Les roches aimantées de la croûte et du manteau supérieur sont à l'origine d'anomalies magnétiques qui peuvent s'étendre sur plusieurs milliers de kilomètres, et dont l'amplitude peut atteindre plusieurs milliers de nanoteslas au sol (le tesla (T) est l'unité de mesure des champs magnétiques) .

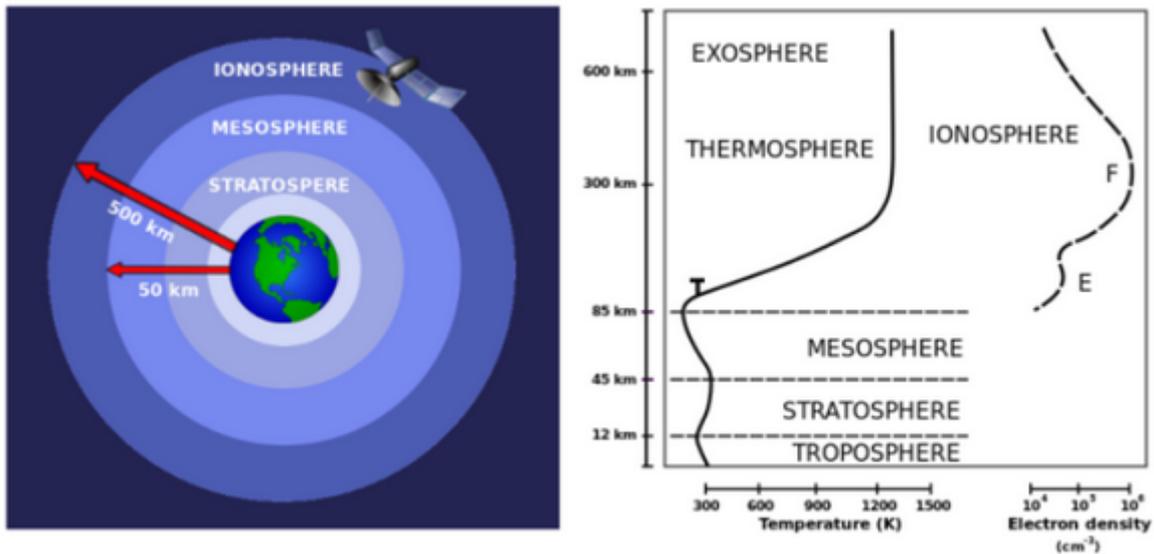


Ces anomalies forment ce que l'on appelle le champ magnétique crustal (ou lithosphérique, à tes souhaits). **Important : l'aimantation d'une roche disparaît lorsque sa température excède la température de Curie, généralement comprise entre 200 et 700 °C.**

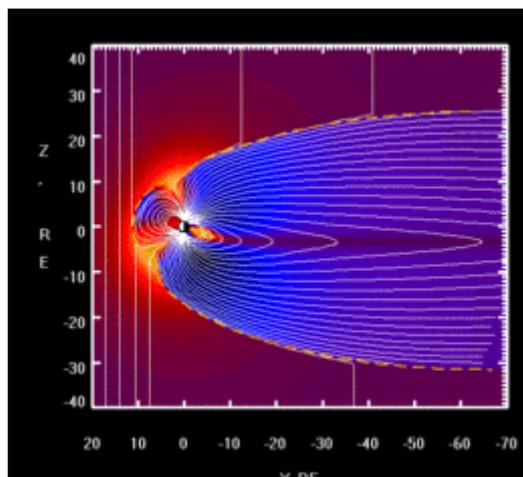
La température augmentant avec la profondeur, les roches ne sont donc aimantées que jusqu'à une certaine profondeur, appelée profondeur de Curie. Dans les zones continentales, la profondeur de Curie est typiquement de 20 kilomètres.

Les systèmes de courants électriques dans les couches ionisées de l'atmosphère terrestre, ou ionosphère, sont une autre source importante du champ géomagnétique. Ils sont notamment

responsables de la variation diurne du champ géomagnétique, d'une amplitude typique de quelques dizaines de nanoteslas.



Plusieurs systèmes de courants électriques circulant dans la magnétosphère sont aussi à l'origine d'un champ magnétique détectable au sol ou en orbite basse : l'anneau de courant, qui circule vers l'ouest dans les ceintures de radiation, dites de Van Allen, situées à une distance de quelques rayons terrestres de la Terre.



Les applications du géomagnétisme sont nombreuses. Depuis l'Antiquité et surtout depuis la fin du Moyen Âge, le champ magnétique terrestre est utilisé pour l'orientation et la navigation. Cet usage continue de nos jours, même si les systèmes de positionnement par satellite comme le Global

Positioning System (GPS), plus précis et plus faciles à utiliser, sont désormais les outils de navigation les plus répandus. Le champ géomagnétique a comme avantage par rapport au GPS d'être détectable tout le temps (même pendant une tempête solaire) et en tout lieu (même au fond d'un canyon ou d'un océan), et d'être impossible à brouiller par des moyens artificiels. Par conséquent, tous les avions, bateaux et sous-marins sont équipés d'un compas magnétique qui leur permet de naviguer en cas de perte du signal GPS.

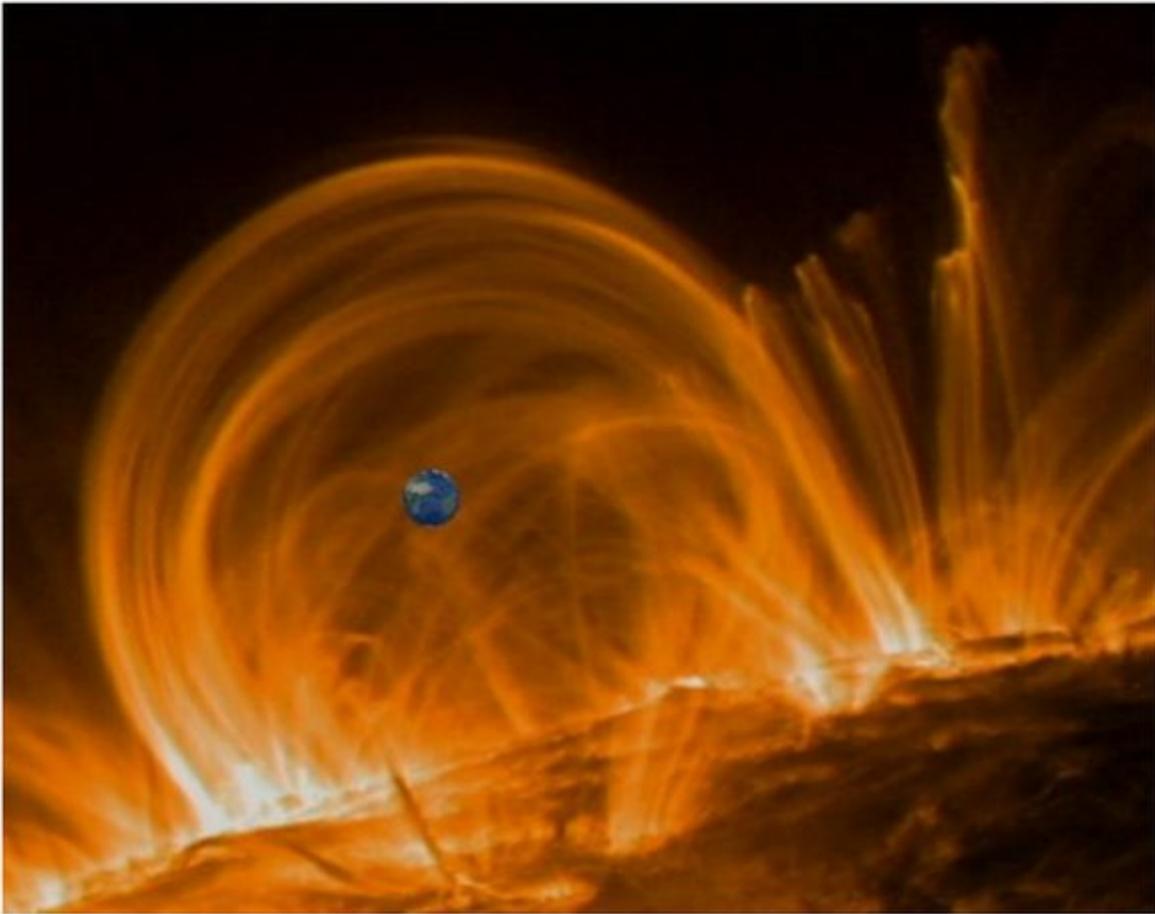
Le champ géomagnétique est aussi utilisé pour le contrôle d'attitude des satellites, l'orientation de leurs antennes et de leurs panneaux solaires, ou encore pour donner la direction dans les smartphones et certains appareils photographiques. Pour toutes ces applications, un modèle géomagnétique est généralement intégré au compas magnétique.

Les levés aéromagnétiques, combinés avec d'autres méthodes géophysiques, sont un des outils communément utilisés pour l'exploration géophysique, dans le but de détecter la présence dans le sous-sol de minerais ou d'hydrocarbures.

Etonnant, hein ?

Le champ magnétique externe, considéré comme un bruit dans toutes les applications précédentes, a lui aussi un intérêt pratique considérable. Lors d'une modification de l'environnement électromagnétique de la Terre, par exemple un orage magnétique causé par une tempête solaire, le champ magnétique est l'un des paramètres géophysiques observables qui permettent de déterminer la nature de l'événement, sa progression et son amplitude.

Une protubérance solaire. Mais que voit-on au milieu, cette petite boule de couleur bleue ?
La terre bien évidemment. Ceci donne une idée des dimensions des choses.

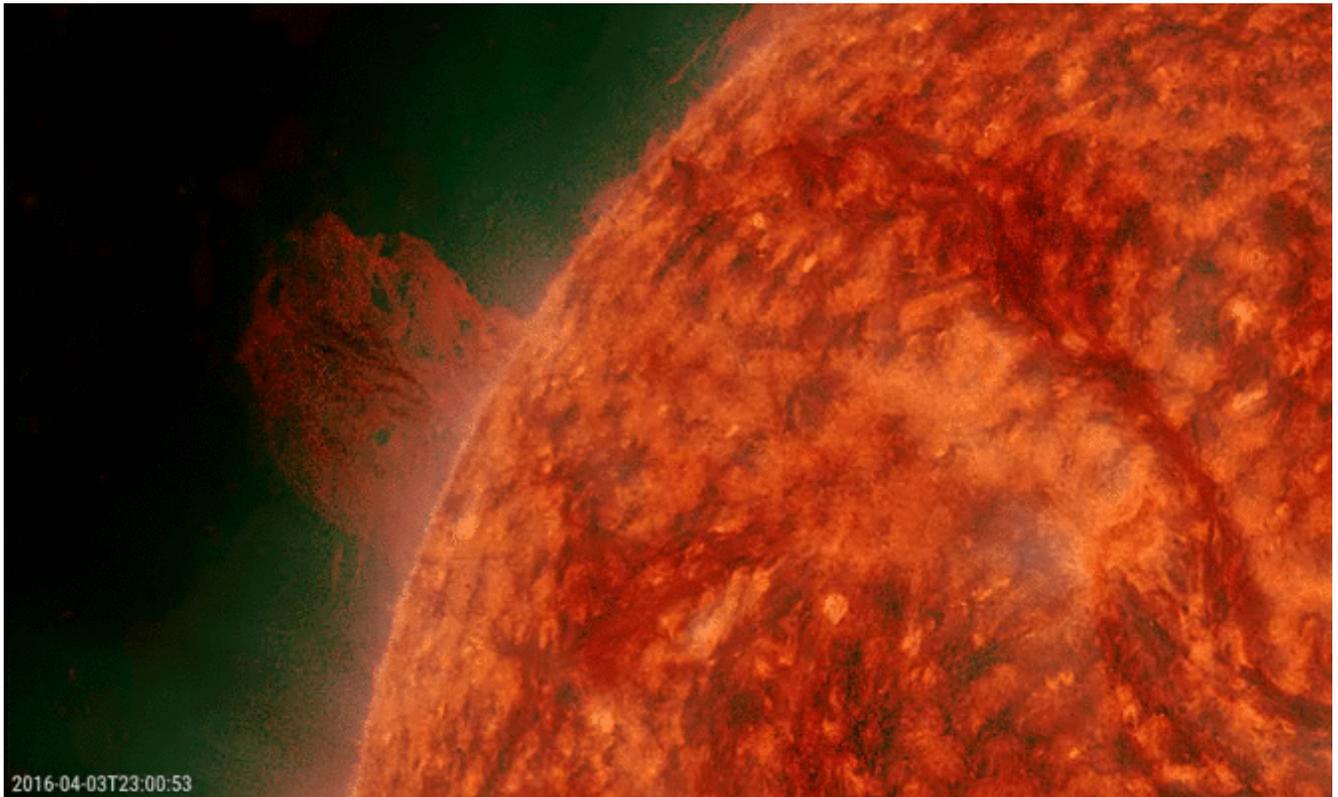




Ces éruptions chromosphériques de jets de matière ionisée atteignent des centaines de milliers de kilomètres d'altitude. Le point blanc que j'ai mis sur cette photo de la NASA représente la Terre. Pas mal, hein ?

Le champ magnétique terrestre est trop faible pour constituer un risque direct pour la santé ou bien les systèmes technologiques, même pendant un orage magnétique. En revanche, les variations du champ, lorsqu'elles sont rapides et de forte amplitude, peuvent induire des courants électriques dans le sous-sol, les réseaux électriques ou encore les pipelines. Ces courants représentent un risque naturel majeur, dans la mesure où ils peuvent détruire des transformateurs et conduire à des coupures de courant géantes, à l'échelle de tout un pays ou de plusieurs pays. Un tel événement s'est déjà produit, en 1989 au Québec : la coupure dura neuf heures. Des orages plus intenses que celui de 1989 se sont déjà produits dans le passé, notamment celui de 1859 pendant lequel l'astronome anglais Richard C. Carrington fit la première observation d'une éruption solaire. Aussi, plusieurs pays ont lancé des programmes de recherche visant à limiter le risque posé par les courants géomagnétiques induits.

Le film ci-dessous montre une éjection de masse coronale vue depuis le satellite SDO entre le 3 et 4 avril 2016



J'espère que toutes ces merveilles t'auront plu, et je te dis à la prochaine !

Bye-bye !

Professeur Tetenlair