
L'astronomie dans le monde

Le champ magnétique terrestre

Que notre planète possède un champ magnétique n'est un mystère pour personne, puisque c'est lui qui nous permet de nous orienter à la boussole. Une des propriétés les plus connues du champ terrestre est d'avoir deux pôles, le Nord, situé, comme le nom ne l'indique pas, près du pôle géographique sud, et le Sud, situé tout aussi logiquement près du pôle géographique nord. Pourquoi n'a-t-on pas donné les mêmes « signes » aux deux types de pôles? C'est tout simplement parce que des pôles magnétiques de même aimantation se repoussent alors que des pôles d'aimantation opposées s'attirent. La Terre est un gigantesque aimant, et le pôle nord d'une boussole (ou de tout autre aimant) indique donc le pôle magnétique sud de la Terre. Comme il était naturel pour les Anciens d'appeler nord le côté de l'aiguille qui pointait dans la direction nord, on comprend le pourquoi de cette inversion de polarité entre la géographie et la physique.

On sait que la direction du pôle magnétique n'est pas constante. Les cartes géographiques qui indiquent la « déclinaison magnétique » mentionnent d'ailleurs l'époque à laquelle elle correspond. L'intensité varie aussi. Ces variations sont très lentes. On sait, par exemple, que le champ était plus important de 50 pour cent il y a deux mille ans. Deux mille ans plus tôt il était au contraire plus faible qu'actuellement de 20 pour cent. Il n'existait évidemment pas d'observatoire magnétique dans ces temps lointains. Mais on peut estimer la direction et l'importance du champ terrestre en étudiant des matériaux comme la terre cuite qui, à chaud, à l'état visqueux, avaient acquis une magnétisation correspondant au champ de l'époque. Lors du refroidissement de ces matériaux (en-dessous du « point de Curie »), la magnétisation s'est figée et, si rien ne vient la perturber, on peut l'analyser des siècles plus tard. (On parle de « archéomagnétisme ».)

On peut remonter beaucoup plus loin dans le temps en utilisant les techniques du « paléomagnétisme ». On ne peut naturellement plus faire appel à des terres cuites, mais il existe des roches qui ont acquis une magnétisation fossile de même nature : les laves. Celles-ci ont l'avantage supplémentaire qu'une fois refroidies elles sont souvent à l'abri de déplacements fortuits. C'est ainsi que l'on peut étudier l'évolution du champ magnétique en étudiant les fonds océaniques qui s'écartent lentement de part et d'autre des grandes dorsales, et forment des espèces de dérouleurs géants d'enregistrements.

Si l'on regarde les variations du champ magnétique terrestre à l'échelle géologique, on s'aperçoit que les pôles magnétiques sont restés à moins d'une trentaine de degrés des pôles géographiques depuis au moins une centaine de millions d'années. L'aimant terrestre reste donc bien sagement aligné de façon approximative sur l'axe de la Terre. Cela peut se comprendre si l'on admet que le champ est dû à des courants fluides chargés électriquement à l'intérieur du globe (à la périphérie de son noyau), et que la rotation de la Terre doit avoir quelque responsabilité dans ces mouvements de matière.

Mais il y a des exceptions à cette régularité. On a constaté que la polarité du champ s'inverse parfois, c'est-à-dire que parfois le pôle magnétique nord se trouve bien au nord de la Terre. Une fois qu'une polarité s'est établie, elle survit un temps plus ou moins long, avec une moyenne (au cours des six derniers millions d'années) d'un peu plus de 200.000 ans. L'inversion du champ surgit assez rapidement et l'on estime généralement que le temps nécessaire à la transition est bien inférieur à dix mille ans, parfois quelques dizaines d'années. Mais de nouvelles données vont peut-être nous obliger à revoir cela.

En étudiant des laves de la Steens Mountain, dans l'Oregon, des géologues français et américains ont eu la surprise de constater que des écoulements de laves vieux de quinze millions d'années indiquent des variations importantes de la direction du champ magnétique sur des périodes d'une ou deux semaines. Ainsi, la partie centrale d'une coulée et son enveloppe montrent des directions qui diffèrent d'une cinquantaine de degrés. Comme le cœur de la coulée met quelques jours de plus pour se refroidir que la croûte, on peut conclure que l'orientation du champ géomagnétique a été fortement perturbée en un temps très bref. Cette observation est très étonnante car il est difficile d'expliquer comment une machine aussi grande que la dynamo terrestre pourrait modifier son comportement aussi vite. Aussi, beaucoup de scientifiques restent-ils sceptiques.

On doit aussi considérer que si les inversions du champ s'effectuent aussi rapidement, la probabilité de découvrir des laves qui étaient en fusion à cet instant précis devient minuscule. A moins que le champ n'oscille rapidement pendant assez longtemps de sorte que l'éruption fortuite d'un volcan puisse capturer l'une de ces oscillations.

Plein succès de la mission Hipparcos

Note d'information ESA n°1
du 7 janvier 1992

L'ESA et les scientifiques travaillant à la mission d'astrométrie Hipparcos (voir *Le Ciel*, Volume 53, février 1991, page 56) sont maintenant en mesure d'annoncer que les premiers résultats de deux années d'analyse intense des données provenant de ce satellite révolutionnaire sont d'une exceptionnelle qualité. Les astronomes ont ainsi une vue beaucoup plus précise des populations stellaires qui constituent notre Galaxie.

Il y a bien longtemps qu'une des tâches fondamentales des astronomes a été d'étudier les différentes propriétés de l'incroyable variété d'étoiles qui la composent. Nombre de domaines de la recherche astrophysique, allant des études de l'évolution stellaire à la cosmologie, et remontant même aux origines du

système solaire, reposent sur l'existence d'un tel « recensement » des caractéristiques de ces étoiles : luminosité, vitesse et direction de leurs déplacements dans l'espace et, ce qui est peut-être le plus important (et le plus difficile à établir), leur éloignement de notre système solaire.

Les premiers mouvements d'étoiles au sein de notre Galaxie ont été observés par Edmund Halley en 1718 et les premières estimations des distances qui nous séparent de quelques-unes des étoiles les plus proches ont été faites par des astronomes vers 1830.

En raison des incroyables distances en cause, les opérations de mesure nécessaires pour procéder à l'étude de cette population se sont le plus souvent révélées vaines lorsqu'elles ont été menées à partir du sol.

L'histoire d'Hipparcos

Voilà près de vingt ans que les astronomes caressent le rêve d'étudier la position des étoiles à partir de l'espace, car des précisions de mesure beaucoup plus grandes peuvent être obtenues si l'on se soustrait à l'atmosphère terrestre dont les turbulences troublent la vision de tous les télescopes au sol. Bien des années d'efforts et plus de trois cents millions de dollars ont été investis par l'ESA dans cette entreprise ambitieuse qui a culminé avec le lancement en août 1989 du télescope de haute technologie qu'est Hipparcos. Le Dr Michael Perryman, scientifique du projet Hipparcos à l'ESA, a décrit le long chemin que les équipes scientifiques, techniques et administratives ont dû parcourir ces dix dernières années avant d'aboutir. Chaque expérience spatiale de grande échelle représente une entreprise laborieuse, nécessitant de nombreuses années de préparation et marquée de multiples problèmes à résoudre. « Les difficultés que nous avons connues avec Hipparcos sont toutes derrière nous », selon les propos du Dr Roger Bonnet, Directeur du Programme scientifique de l'Agence, qui a ajouté : « Hipparcos jette les bases de l'astrophysique future, prouvant les capacités d'innovation de la communauté scientifique et de l'industrie européenne ».

Les scientifiques d'Hipparcos publient actuellement les positions de plusieurs milliers d'étoiles avec une précision meilleure qu'un centième de seconde d'arc, soit au moins dix fois meilleure que ce qu'il avait été possible d'obtenir au sol jusqu'ici. Ces nouvelles mesures de position permettent de corriger le

cadre de référence stellaire qui avait été établi au moyen d'observations faites du sol, ainsi que les distances de nombre de ces objets. Ces mesures de distance améliorées seront introduites progressivement dans des modèles d'évolution stellaire et de mouvement galactique qui serviront à améliorer les théories concernant notre Galaxie et la façon dont elle a été formée. Beaucoup d'étoiles variables ou pulsars, et des centaines de nouveaux systèmes d'étoiles doubles, ont également été découverts au cours des analyses de données faites jusqu'ici.

L'aventure d'Hipparcos: une mission sauvée

La mission Hipparcos a été gravement compromise après le lancement du satellite lorsque celui-ci n'a pu atteindre sa position prévue sur l'orbite circulaire des satellites géostationnaires en raison du non-fonctionnement de son moteur d'apogée. Pour bien des spécialistes, à l'ESA comme à l'extérieur, ce fut un contretemps dont le projet n'avait guère de chance de se remettre. Toutefois, après de nombreux mois d'efforts intenses, un concept opérationnel révisé a été étudié et a pu être mis en œuvre. M. Dietmar Heger, responsable de l'équipe opérationnelle du satellite Hipparcos au Centre européen d'opérations spatiales, l'ESOC, à Darmstadt (Allemagne) estime que « les perspectives n'ont jamais été meilleures pour Hipparcos. Au bout de près de deux années et demie en orbite, il fonctionne d'une façon exceptionnelle. C'est environ un milliard de « bits » de données scientifiques de haute qualité qui sont recueillis chaque jour et transmis aux équipes de chercheurs chargées en Europe de leur analyse ». Les équipes scientifiques insistent sur l'importance et la qualité des résultats fournis par Hipparcos.

Dans son ensemble, le travail d'analyse des données ressemble à un puzzle géant, comprenant plusieurs millions de petites pièces qu'il faut assembler afin d'obtenir une image d'ensemble. Prise isolément, aucune des pièces du puzzle n'a de signification réelle, à moins d'être mise à sa place correcte. La préparation de ce travail complexe d'assemblage de données a occupé une centaine de chercheurs européens, issus de nombreuses disciplines scientifiques. Le travail de ces équipes depuis le lancement a consisté à vérifier si toutes les pièces étaient disponibles, si elles étaient toutes d'une qualité suffisante et

si elles pouvaient s'ajuster correctement. « Nous savons désormais que les pièces sont là et qu'elles s'adaptent », nous a dit le Dr Perryman; « nous pouvons affirmer que les conséquences pour notre connaissance de ce qui se passe dans notre Galaxie seront spectaculaires ».

Les neutrinos solaires

Les neutrinos sont des particules élémentaires qui donnent bien des insomnies aux astrophysiciens. Ils sont produits en grand nombre dans les processus nucléaires qui se déroulent au sein des étoiles. Ils sont doués d'une propriété qui est à la fois intéressante et frustrante : ils traversent sans broncher n'importe quoi (l'exemple cité habituellement mentionne une épaisseur de plomb de plusieurs années lumière!). Les neutrinos jaillissent donc sans coup férir du cœur de notre Soleil et ils peuvent témoigner directement de l'activité qui y règne. Si l'on disposait d'un télescope à neutrinos, on pourrait « voir » l'intérieur même de l'astre du jour et en étudier la fournaise. Le malheur est que ces particules traversent aussi tous les détecteurs conventionnels et... ne sont donc pas détectés.

Mais un point joue en faveur des astronomes, c'est la quantité phénoménale de neutrinos produits par le Soleil. Il y en a tellement que la probabilité que l'un d'entre eux se fasse malgré tout arrêter par un atome dans un détecteur de très grandes dimensions n'est pas tout à fait nulle. On s'est donc mis à construire de tels détecteurs, contenant des tonnes des matériaux les plus aptes à intercepter les neutrinos. On obtient ainsi moins d'un événement par jour, ce qui pousse les techniques de détection dans leurs derniers retranchements, mais finit par donner des résultats.

Il y a vingt ans les mesures faites avec un détecteur situé dans une mine d'or du Dakota du Sud commençaient à s'accumuler. Elles montraient un désaccord avec la théorie car on observait moins de neutrinos que prévu. Ces mesures furent confirmées par d'autres instruments. Ces instruments avaient tous la particularité d'utiliser le chlore comme « cible » des neutrinos. Les neutrinos que le

chlore peut arrêter sont uniquement ceux de haute énergie, et il se fait que les réactions les produisant dans le Soleil sont très sensibles à la température. Aussi n'était-il pas interdit de penser qu'il suffirait d'une petite modification des modèles solaires pour rétablir l'accord entre théorie et observation.

Cependant, le meilleur moyen de dissiper les doutes était de construire un détecteur qui ne se cantonnait pas aux seuls neutrinos énergétiques. Ce fut le but de l'expérience SAGE (Soviet-American Gallium Experiment), qui utilise un détecteur situé profondément sous le Caucase, et contenant trente tonnes de gallium. Après quelques mois de mesures il semblait bien que le déficit de neutrinos se vérifiait dans toutes les gammes d'énergie (voir *Le Ciel*, septembre 1990, page 219). Un an et demi plus tard, les physiciens du SAGE publient maintenant leurs résultats et confirment que moins de la moitié des neutrinos attendus sont observés. On attend de nouvelles expériences, mais il semble faire peu de doutes pour les théoriciens que les neutrinos solaires (dits « électroniques ») se transforment en cours de route en l'une des deux autres variétés (« muon » ou « tau »), celles-ci n'étant pas décelables par le SAGE. Un détecteur sensible à ces types de neutrinos apporterait une confirmation de ces idées. On pense d'autre part à aborder le problème sous un angle encore plus direct : un faisceau de neutrinos serait dirigé depuis un laboratoire de Chicago vers un autre situé à Cleveland, et l'on chercherait à mettre en évidence des changements de type.

* * *

Planètes X et pulsars

On se souvient de l'annonce sensationnelle faite l'an passé de la découverte d'une planète tournant autour d'une étoile autre que notre Soleil. Les caractéristiques de l'orbite supposée de cette planète avaient immédiatement fait penser à une erreur de dépouillement des mesures (voir *Le Ciel*, Volume 53, 1991, page 258), car on y retrouvait une influence anormale du mouvement de notre Terre (ainsi la période était d'exactly 6 mois, étrange coïncidence). L'étoile centrale du système était un pulsar, PSR1829-10, c'est-à-dire une étoile

à neutrons, extrêmement compacte, et fruit de l'effondrement catastrophique d'une supernova. L'existence même d'une planète autour d'un astre ayant eu une carrière si mouvementée posait aussi un problème. Mais les découvreurs, Andrew Lyne et ses collègues du Nuffield Radio Observatory, tenaient bon, d'autant que des théoriciens redoublaient d'imagination pour montrer que des planètes pouvaient très bien survivre à l'explosion d'une supernova, ou au contraire pouvaient se former à la suite de cet épisode.

La découverte récente, faite par Aleksander Wolszczan avec le radiotélescope de 305 mètres d'Arecibo, qu'un autre pulsar, PSR1257+12, serait affublé de deux compagnons planétaires, voire plus, apportait de l'eau au moulin de Lyne. Les pulsars seraient-ils réellement un grand réservoir de systèmes planétaires? Pas nécessairement. Les pulsars émettent des impulsions radio extrêmement régulières, qui en font des horloges de grande qualité. La moindre perturbation par un compagnon modifie la fréquence de ces impulsions (effet Doppler) et ne peut passer inaperçue. C'est ainsi que détecter une planète autour d'un pulsar est un millier de fois plus aisé que détecter la même planète autour d'une étoile habituelle.

On attendait avec impatience les communications des diverses équipes au congrès de l'American Astronomical Society en janvier. Quelle ne fut pas la surprise de voir Andrew Lyne avouer s'être trompé en corrigeant la fréquence des impulsions de l'effet du mouvement de la Terre. Mais Aleksander Wolszczan, reste confiant, quant à lui, dans ses planètes. Il n'a pas commis la même erreur et voici donc enfin les premières vraies planètes jamais observées hors de notre système solaire.

On ne sait pas à quoi ressembleraient de telles planètes. Un pulsar est un astre très étrange, avec un rayonnement beaucoup plus corrosif que celui du Soleil. Une atmosphère comme celle de la Terre serait très vite balayée et, les planètes seraient plutôt soumises à l'assaut permanent de particules très énergétiques, comme dans le faisceau d'un accélérateur gigantesque. Toute possibilité de vie en est certainement exclue.