

L'astronomie dans le monde

Les marées terrestres

Tout le monde connaît les marées océaniques, bien que la cause n'en soit pas des plus immédiates. Pour résumer, disons que l'attraction de la Lune est maximale sur l'eau des océans tournés vers elle, et minimale dans la région du globe diamétralement opposée. En ces deux endroits l'eau tend à se rassembler pour former un bourrelet. L'un d'eux monte vers la Lune, tandis que l'autre est comme repoussé par elle. Au cours de chaque rotation de la Terre, ces deux vagues — qui restent fixes par rapport à la Lune — passent sur toute la circonférence de notre globe. Le phénomène est compliqué par le Soleil qui joue un effet similaire, par les mouvements de la Lune et de la Terre qui changent de positions respectives, et par les reliefs des fonds qui entraînent des marées de plusieurs mètres d'amplitude sur certaines côtes.

Par contre les marées terrestres semblent beaucoup moins connues du grand public : lors d'une récente émission télévisée consacrée à la mer, un animateur était d'ailleurs persuadé qu'il s'agissait d'un canular (il est amusant de constater qu'il est parfois plus difficile de faire accepter de simples phénomènes physiques bien connus que les élucubrations de l'astrologie et autres parasciences). Le sol monte et descend, deux fois par jour, sous l'influence combinée de la Lune et du Soleil. L'amplitude, généralement de quelques dizaines de centimètres est comparable à celle des océans. Il y a cependant une grosse différence entre les deux phénomènes, le terrestre et l'océanique : la Terre n'est guère fluide et il ne peut y avoir de mouvements latéraux de matière pour former un bourrelet mobile. Mais elle a une certaine élasticité, et l'étirement a lieu dans toute la masse; il est cependant minime comparé au diamètre du globe (plus de 12.000 kilomètres).

Comme comparaison on examinera la figure tirée du livre *A tapestry of orbits* de Desmond King-Hele (voir page 127). La distribution des masses continentales engendre des déformations de quelques dizaines de mètres, alors que la rotation du globe entraîne des déformations (un aplatissement) de quelques dizaines de kilomètres. Cette dernière valeur montre combien l'influence de la Lune est petite comparée à la force centrifuge engendrée par la rotation diurne.

Si petite soit-elle, cette influence lunaire n'est pas sans créer certains problèmes. Non, il ne s'agit pas de justifier le folklore des almanachs, ni de donner la moindre crédibilité aux pouvoirs de la pleine lune ou de la lune rousse. Nous avons vu que les marées lunaires (ou plutôt luni-solaires) étirent notre planète dans une direction faisant un tour entier en un jour environ. On en conclut que toute région du globe s'allongera un tantinet chaque fois que la Lune sera près de l'horizon (négligeons ici le Soleil), pour se rétrécir ensuite. Sachant que sur 12.000 kilomètres l'étirement atteint 40 centimètres, on peut estimer grossièrement que les dimensions d'un pays comme la Belgique (disons de 300 kilomètres) se modifient périodiquement (deux fois par jour) de $300/12000 \times 40$, soit d'un centimètre environ. Cela ne porte guère à conséquence, sinon que les moyens de mesure actuels les plus sophistiqués arrivent à cette précision. On peut donc s'attendre à voir bientôt les géomètres intrigués par des erreurs inexplicables. Quelle sera leur surprise quand ils constateront une corrélation avec la Lune! Il est certain que le mystère aura très vite été éclairci, mais si nous poussons un peu plus loin le raisonnement, nous remarquons qu'une analyse très fine des mesures indiquera une influence de la position du Soleil dans le ciel. En fin de compte on constatera que la vigueur du royaume de Belgique dépend du signe du zodiaque, et des phases de la Lune.

Cela les astrologues le « savaient » depuis longtemps. Mais ce qu'ils n'avaient pas prévu, c'est que la même perturbation luni-solaire affecterait l'énergie du faisceau de particules circulant dans le LEP (Large Electron Positron collider) au CERN (Centre Européen de Recherche Nucléaire). Le LEP est un immense accélérateur de particules en forme d'anneau, de 27 kilomètres de circonférence. Depuis des années les physiciens du CERN se heurtaient à des variations inexplicables qui les empêchaient de mener à bien certaines expériences, comme la détermination de la masse de la particule Z^0 . Mais ces variations dépendent du signe du Zodiaque et des phases de la Lune et, vous l'auriez tous deviné : ce sont les marées qui déforment le LEP. La longueur de l'anneau change périodiquement d'un millimètre environ, et c'est suffisant pour engendrer les variations d'énergie observées, car la trajectoire des particules doit être d'une stabilité extrême. Le remède est simple : avant d'interpréter leurs mesures, les physiciens regardent maintenant le ciel... ou consultent un almanach.

Comète Shoemaker-Levy (1993e)

C'est le 24 mars, en utilisant le « petit » télescope Schmidt de 46 cm du Mont Palomar, que David Levy et Caroline et Eugene Shoemaker ont fait une très curieuse découverte. Une image indiscutablement cométaire montrait non pas un noyau condensé, mais une longue barre de magnitude 15 s'étendant sur une minute d'arc. L'observation était confirmée deux nuits plus tard par J. Scotti, à l'observatoire de Kitt Peak, qui obtint plusieurs images avec une caméra CCD. La comète, baptisée Shoemaker-Levy (1993e), montrait un « noyau » étiré sur 47 secondes d'arc dans le sens est-ouest, avec au moins cinq condensations. La queue était, elle aussi, étalée, avec plusieurs composantes liées à chacune des condensations et une longueur maximale d'une minute d'arc. Le 28 mars, Scotti n'observait pas moins de 11 noyaux distincts!

La proximité de Jupiter (moins de cinq degrés au moment des observations) a très certainement été la cause du bris de la comète. Plusieurs noyaux poursuivent maintenant leur chemin de façon indépendante.

Ce n'est pas la première fois que l'on assiste à ce genre de spectacle. En 1886, la comète P/Brooks 2 a elle aussi subi l'influence destructrice du champ gravitationnel de Jupiter.

Beaucoup de comètes ont leur orbite liée à la planète géante du système solaire. On parle de la « famille » de Jupiter. Il existe aussi des familles, moins nombreuses, pour les autres grosses planètes. Lorsqu'elles entrent pour la première fois dans le système solaire en provenance du nuage de Oort, les comètes de ces familles peuvent être piégées par Jupiter, Saturne, Uranus ou Neptune. Il suffit pour cela d'un passage un peu trop rapproché qui modifie leur orbite. Au lieu de retourner dans les espaces infinis comme le voudrait leur trajectoire quasi parabolique initiale, elles suivent alors une ellipse qui les ramène périodiquement près du Soleil. Elles sont devenues des comètes périodiques, comme P/Halley, P/Swift-Tuttle ou P/Borsen-Metcalf (c'est ce qui vaut le préfixe « P/ »).

Le sort d'une comète périodique est de fondre comme neige lors de chaque passage près de l'astre du jour. Mais leur orbite peut les ramener de temps à autre très près de la planète qui les a sous sa coupe. Le puissant champ de gravitation peut alors briser l'astre chevelu en petits morceaux et l'empêcher de continuer sa belle carrière. L'orbite peut aussi être modifiée de façon sensible et renvoyer la comète aux confins du système solaire, ou sur une trajectoire tout à fait différente.

Lente érosion par le Soleil et brutale fragmentation par les planètes, ou par le Soleil lui-même (cas de la fameuse comète West), ont finalement raison des comètes et assurent la formation des essaims de météorites. Ces essaims sont constitués des débris éparpillés le long d'une orbite cométaire. Par exemple la comète Swift-Tuttle qui est passée récemment dans notre ciel continue de former le long de son orbite l'essaim des Perséides. Bien après la mort de la comète, l'essaim continue d'exister tout en se dispersant. Finalement les particules se mélangent au vaste nuage de poussières entourant le Soleil — nuage que l'on peut observer comme « lumière zodiacale » par très belles nuits. L'histoire de ces particules n'est pas encore terminée car elles finissent par retomber lentement sur le Soleil et se consomment dans sa redoutable

fournaise. Les poussières interplanétaires sont ainsi renouvelées sans cesse par de nouvelles comètes, mais aussi par des collisions de petits astéroïdes (entre eux ou avec de petites lunes), par la dissipation d'anneaux comme celui de Saturne, par des éjections volcaniques (Io) et par l'apport de poussières interstellaires, extérieures à notre système planétaire.

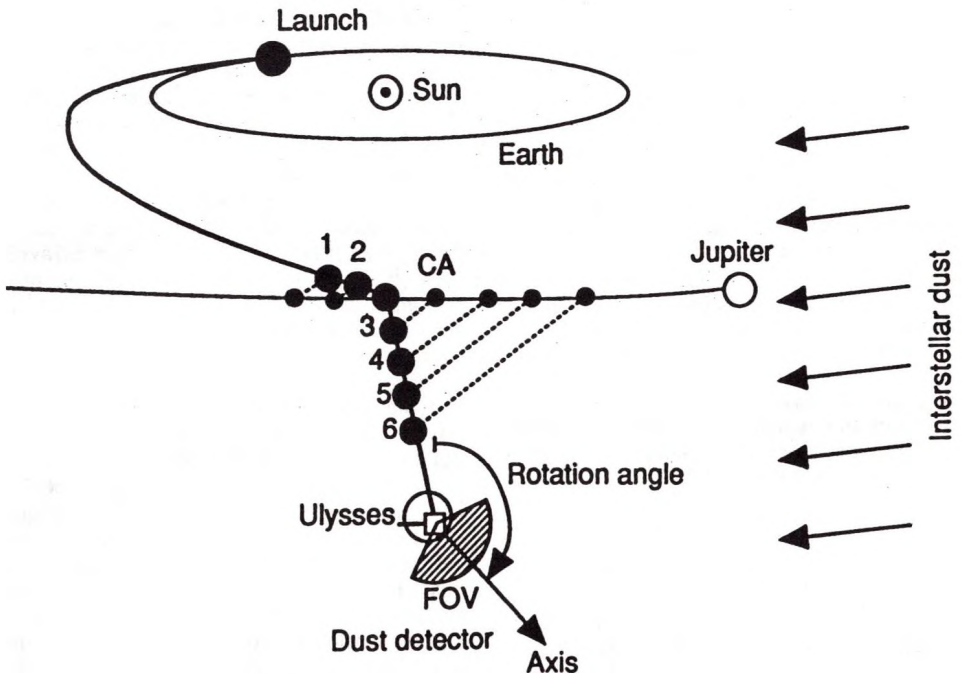
Ulysse détecte des poussières interplanétaires

La sonde Ulysse, en route pour survoler le pôle sud du Soleil, est passée près de Jupiter le 8 février 1992 (voir *Le Ciel*, mars 1992, pages

78 et seq.). C'est cette manœuvre risquée qui lui a permis de modifier sa trajectoire de façon radicale en échappant au plan de l'écliptique.

Avant d'étudier en détail le Soleil, Ulysse s'occupe de diverses observations, et en particulier des particules de poussières interplanétaires. Dans une récente analyse des résultats de la sonde européenne, une équipe internationale de chercheurs ont découvert la présence de deux composantes bien caractéristiques.

Aux alentours de la planète géante, Ulysse a subi des impacts de grains de poussières en plusieurs salves distantes d'environ un mois et provenant de la direction de Jupiter! Il semble bien que la planète soit à l'origine de ces jets de poussières.



Trajectoire d'Ulysse et géométrie des courants de poussières détectés par la sonde. CA (« closest approach ») indique la position du passage près de Jupiter. Les chiffres de 1 à 6 montre les six jets de particules joviennes frappant Ulysse. De la droite, on voit le vent de poussières interstellaires en provenance de la constellation de la Poupe.

Les sources possibles ne manquent pas (Io, halo, anneau), et la périodicité d'un mois existe précisément dans l'émission radio-électrique de grande longueur d'onde détectée par Voyager. Cette périodicité est elle-même liée à la rotation solaire via le champ magnétique provenant de celui-ci. Quant au mécanisme d'éjection, il pourrait être électrique : les poussières de Jupiter seraient chargées électrostatiquement par le plasma de la magnétosphère. Des forces électromagnétiques pourraient alors projeter ces grains hors de l'environnement jovien.

L'autre composante des poussières montrait une vitesse et une direction bien marquées en sens inverse du mouvement direct (mouvement général des planètes, et donc de Jupiter). Le mouvement général de ces particules coïncide avec celui observé récemment (également par Ulysse) pour un flux constant de noyaux d'hélium. La vitesse par rapport au Soleil est de 26 kilomètres par seconde et le flux semble émaner d'un point de la constellation de la Poupe.

On pense que c'est là une manifestation du passage d'un immense nuage de gaz et de poussières interstellaires au travers de notre système planétaire. La vitesse de 26 kilomètres par seconde est la vitesse relative de ce nuage par rapport au Soleil. Cette détection est très importante car elle constitue la première observation *directe* de matière interstellaire.

Pourquoi n'observe-t-on les grains de poussières qu'à la distance de Jupiter? Tout simplement parce qu'ils ne peuvent pénétrer plus profondément dans le système solaire par suite de la pression de radiation et des interactions avec le milieu local.

Supernova SN 1993J dans M81

Le 28 mars de cette année, l'amateur F. Garcia, de Lugo en Espagne, observait une nouvelle étoile de magnitude 12 dans la galaxie NGC3031 — galaxie mieux connue sous le nom de Messier 81. Le 30 mars, des spectres obtenus avec le télescope Shane de 3m de l'Observatoire Lick (Californie), ainsi qu'avec le télescope Isaac Newton de 2m50 des Canaries, confirmaient qu'il s'agissait bien d'une

supernova, c'est-à-dire d'une étoile ayant explosé et dont l'éclat égalait temporairement celui de la galaxie qui l'abritait. Selon la procédure définie par les astronomes, cette supernova — la dixième de l'année — reçut la dénomination SN 1993J.

Avec une distance de dix millions d'années lumière, M81 est ce que l'on peut appeler une galaxie proche, cinq fois plus distante qu'Andromède. C'est cependant 60 ou 70 fois plus loin que les nuages de Magellan et, bien que l'excitation parmi les astrophysiciens soit très élevée, on ne peut pas parler d'un événement comparable à la supernova du Grand Nuage, SN 1987A. La lumière se diluant avec le carré de la distance, il faut se contenter d'un flux lumineux des milliers de fois plus faible que pour SN 1987A.

Cet effet de dilution est valable aussi pour les neutrinos. On se souvient que la supernova magellanique avait donné lieu à la détection de quelques dizaines de ces particules mystérieuses. Divisons cela par mille, et il n'y avait aucune chance de percevoir les neutrinos en provenance de M81.

Après un premier maximum aux environs de la magnitude 10,5 vers le 30 mars, suivi d'une chute brusque et d'un minimum le 5 avril (magnitude 12), la supernova montrait une remontée progressive de l'éclat. Celui-ci se stabilisait à la mi-avril (magnitude 10,8), et décroissait même dans les longueurs d'ondes les plus courtes (ultraviolettes) visibles du sol.

Il s'agit apparemment d'une supernova de type II, c'est-à-dire une étoile isolée, massive, qui a fini de brûler son combustible nucléaire et s'effondre sous son propre poids. L'« implosion » produit une onde de choc qui se traduit par un « rebond » de la matière vers l'extérieur, et une éjection de la totalité (ou quasi totalité) de la masse de l'étoile. Dans certains cas, il peut rester au centre une minuscule étoile à neutrons, vestige dérisoire de la supergéante initiale. Il est encore trop tôt pour dire ce qu'il en est pour la supernova de M81.

Les observations de SN 1993J montrent la présence d'un mouvement d'expansion dépassant 10.000 kilomètres par seconde : en quelques heures le nuage de débris gonfle du

diamètre de l'orbite terrestre; et en quelques jours il atteint le volume du système solaire. C'est dire la violence de l'événement.

La position apparente de la supernova par rapport au centre de la galaxie M81 est de 44 secondes d'arc à l'ouest, et de 162 secondes au sud. La recherche du « progéniteur » (c'est-à-dire de l'étoile avant l'explosion) sur des clichés antérieurs, à cette position exacte, a été menée tambour battant afin de confronter l'observation aux théories de l'évolution stellaire. Une faible étoile de vingtième magnitude semble correspondre parfaitement avec la position de la supernova. Pour être visible individuellement à la distance de M81, cette étoile est malgré sa faiblesse apparente une supergéante, des centaines de milliers de fois plus brillante que le Soleil. De type K0, c'est une étoile rouge, dans la phase finale d'une longue évolution. En comparant des clichés pris à des moments différents, on observe d'importantes variations, ce qui ne fait que conforter l'identification. Tout ceci est presque trop beau pour être vrai, et cadre très bien avec nos idées sur les précurseurs de supernova.

Des observations faites avant la découverte montrent que l'explosion a dû avoir lieu le 28 mars. Le 28 à 5h TU, l'astre était de magnitude 13,8 sur une image CCD, alors que le 27 à 21h, une diapositive Ektachrome 400 prise par l'astronome amateur français J.-C. Merlin, et ayant un seuil de magnitude 16, ne la décelait pas.

Le 2 avril, quelques jours après la découverte, les premières observations en ondes radio étaient effectuées dans le domaine centimétrique (22,5 GHz=1,3 cm). L'intensité augmentait rapidement, et le 8 avril la supernova était bien visible dans plusieurs bandes (1,3 cm, 2,0 cm et 3,6 cm) avec le Very Large Array (VLA) et d'autres radiotélescopes. Deux supernovae précédentes avaient montré un comportement semblable (SN 1979C et 1980K), mais l'émission radio de SN 1993J est apparue de façon plus précoce.

Quelques jours plus tard l'astre était observé à la longueur d'onde de 6 cm, et aussi dans le domaine millimétrique, le 11 avril à 98 GHz à l'observatoire d'Owens Valley en californie, et dès le 9 avril à 87 GHz avec l'interféromètre

de l'IRAM (Grenoble). Celui-ci devait observer aussi la supernova à 110 GHz. C'est la première fois qu'une supernova est détectée à de telles fréquences.

La supernova a été également observée comme une brillante source de rayons X par le satellite nippo-américain ASCA (Advanced Satellite for Cosmology and Astrophysics), et par le satellite germano-américano-britannique ROSAT (dès le 28 mars) qui montre un affaiblissement progressif de l'astre dans cette gamme de rayonnement.

Tristement absent de la ruée observationnelle, le Hubble Space Telescope est handicapé par un manque absolu de souplesse qui ne lui permet pas de faire face à des événements imprévus. C'est bien dommage, car une supernova relativement proche constitue une cible idéale pour lui. D'un autre côté, il faut souligner la performance du satellite ASCA lancé seulement le 20 février. Les éléments de l'optique X étaient déployés le 2 mars, et les tests observationnels étaient prévus autour du 20 mars. Une semaine plus tard, ASCA se révélait parfaitement opérationnel en obtenant d'importants résultats sur SN 1993J.