

L'astronomie dans le monde

Trous noirs, petits et grands

Le Hubble Space Telescope a peut-être détecté un trou noir dans le noyau de la galaxie elliptique M32 (l'une des compagnes de la grande nébuleuse d'Andromède M31). C'est la présence d'une concentration très forte de la luminosité au centre de la galaxie qui incite les astronomes à penser que les étoiles y sont aspirées par un objet de trois millions de fois la masse du Soleil. Des observations faites depuis le sol montrent que les étoiles du centre de la galaxie tournent beaucoup trop vite, ce qui ne peut s'expliquer également que par la présence d'une très grande masse dans le noyau.

Il n'y a pas longtemps nous annoncions (*Le Ciel*, avril 1992, page 116) la découverte probable d'un trou noir de « faible » masse (environ six fois celle du Soleil) dans l'étoile multiple V404 Cygni. Des observations récentes, montrant la présence de lithium dans le spectre, ont permis d'établir avec plus de précision la nature d'un compagnon de ce trou noir. Il s'agirait d'une étoile naine d'un âge approximatif de cent millions d'années. La distance du système serait alors d'environ 5.000 années-lumière. Des considérations d'évolution stellaire montrent que V404 Cygni doit être un système triple, avec un compagnon inobservable orbitant autour du trou noir en six heures. La période du troisième objet est de 6,5 jours.

L'attaque en règle portée par les astrophysiciens sur ces astres mystérieux semble donc porter ses fruits : les trous noirs seront sans doute bientôt des pensionnaires à part entière, tout à fait reconnus, de la ménagerie astronomique, et non plus d'hypothétiques objets auxquels on peut croire ou ne pas croire selon sa sensibilité personnelle.

Menaces venues du ciel

Le « sommet » de Rio vient à point pour nous rappeler combien notre environnement est fragile, et comment la moindre perturbation de celui-ci peut avoir des résultats catastrophiques. Par son comportement dit civilisé, l'homme est responsable de la disparition au cours des deux dernières décennies de plus d'un million d'*espèces* vivantes rien que dans les forêts tropicales. Record difficile à battre, pensera-t-on. Gageons que les timides résolutions qui — soyons optimistes — pourraient être prises à Rio ne l'empêcheront pas de faire mieux encore dans les deux prochaines décennies. Et pourtant la Terre et ses habitants ont subi des désastres encore plus violents comme le montrent de récentes études géologiques et paléontologiques.

La plus connue des extinctions massives eut lieu il y a quelque 65 millions d'années, époque si remarquable qu'elle est enregistrée comme la limite entre les ères Secondaire et Tertiaire (appelée aussi limite « K-T » ou « Crétacé-Tertiaire »). Le symptôme le plus spectaculaire, et en tout cas celui qui marque le plus les imaginations pour des raisons tout à fait compréhensibles, est l'extinction des dinosaures qui jusqu'alors régnaient en maîtres sur la Terre. Mais loin de sonner le glas uniquement pour les célèbres sauriens, la limite K-T a vu l'extinction d'une fraction importante des espèces animales et végétales.

L'explication avancée il y a une dizaine d'années par Luis et Walter Alvarez est qu'un astéroïde a heurté la Terre et que les perturbations climatiques créées par les poussières rejetées dans l'atmosphère ainsi que par de gigantesques incendies ont eu des effets dévastateurs. La chaîne alimentaire a été modifiée totalement et beaucoup d'*espèces* n'ont pu survivre. L'indice essentiel qui avait guidé les Alvarez sur cette piste inattendue était l'existence dans la couche géologique K-T vieille de 65 millions d'années de ce que l'on pense être

les retombées consécutives à un impact gigantesque : teneur élevée en iridium, grains de quartz compressés, sphérules d'impact. La coïncidence est curieuse mais la confirmation d'une relation de cause à effet entre un impact d'astéroïde et les extinctions demandait une vérification importante. Un tel événement catastrophique doit se marquer par des extinctions abruptes, les conditions atmosphériques n'étant perturbées fortement que durant quelques semaines ou quelques mois. Or les statistiques faites sur les découvertes de fossiles semblaient prouver que les extinctions avaient été progressives, très progressives même puisque paraissant parfois s'étaler sur des millions d'années. Le débat restait donc ouvert.

Mais un effet pernicieux, un « biais observationnel » assez subtil, entachait les relevés de fossiles. On s'aperçut qu'il y avait une corrélation très marquée entre la rareté d'un fossile et l'époque de son extinction : moins un fossile était abondant et plus tôt il disparaissait des couches géologiques. Cet effet que l'on a appelé « effet Signor-Lipps » a naturellement mis la puce à l'oreille des spécialistes. Il était clair que des recherches plus exhaustives de fossiles allaient permettre d'en découvrir de plus en plus près de la limite K-T. Effectivement des travaux de grande ampleur permirent de mettre à jour de nombreux fossiles d'espèces soi-disant éteintes jusqu'à l'endroit même marquant l'époque K-T. La preuve était faite que l'extinction n'avait pas été graduelle, mais très abrupte.

Naturellement le jeu de l'évolution fit que certaines espèces étaient en expansion et d'autres en régression à l'instant fatidique. Ainsi il semble bien que des coquillages appelés inocéramides étaient déjà en train de disparaître depuis un bon million d'années lorsque l'astéroïde leur a porté un coup fatal. On sait aussi que le niveau des mers descendait progressivement à cette époque; de même la poussée de l'Inde vers l'Asie engendrait une fièvre volcanique de grande ampleur. Tous ces effets se sont combinés pour modifier de façon durable l'équilibre des espèces vivantes.

Comme si cela ne suffisait pas, il apparaît maintenant qu'il y a eu non pas un seul impact mais probablement deux, à quelques années de distance; le second venant donner le coup de grâce et terminer le travail du premier. Cette

coïncidence extraordinaire est étayée par l'analyse fine de la couche K-T. Les traces d'impacts se retrouvent dans deux couches très voisines. On pensait généralement que la couche supérieure était simplement due à des retombées tardives de particules restées quelques jours dans l'atmosphère, alors que la couche inférieure était constituée des retombées immédiates. Mais on a découvert voici deux ans des traces d'érosion sur la couche inférieure; cette érosion s'est produite avant le dépôt de la seconde couche et elle a duré plusieurs années. Une confirmation spectaculaire et toute récente de cette théorie d'un impact double vient de l'observation dans la couche inférieure de traces de plantes ayant eu le temps de se développer avant que ne vienne la couche supérieure.

Les astéroïdes responsables de ces impacts étaient très gros. Ils ont creusé des cratères gigantesques se mesurant en dizaines ou centaines de kilomètres. Même après 65 millions d'années, il doit subsister des traces de formations aussi remarquables. Les lecteurs du *Ciel* qui ont suivi la recherche de ces cratères ne souviendront sans doute de la première tentative d'identification avec le cratère Manson dans l'Iowa (*Le Ciel*, septembre 1989, page 318). Avec un diamètre de 35 kilomètres, le MIS (Manson Impact Structure) avait d'abord été reconnu comme une formation d'origine volcanique. Il avait ensuite été détrôné par un cratère beaucoup plus imposant, de 180 kilomètres de diamètre, celui de Chicxulub dans le Yucatan (*Le Ciel*, mai 1991, page 162). L'idée avait été émise que les deux cratères étaient dus à la chute de fragments d'un même astéroïde qui auraient heurté la Terre à quelques instants d'intervalle. Il semble maintenant que quelques années séparaient les deux impacts — ce qui n'est pas incompatible avec une origine commune.

Le plus gros fragment, celui qui a créé Chicxulub, devait avoir une dizaine de kilomètres de diamètre; celui du cratère Manson un ou deux kilomètres seulement. Le noyau de la comète de Halley, avec une quinzaine de kilomètres, est plus gros que cela. Il n'est pas rare que des comètes se brisent en passant au voisinage du Soleil; on en a recensé une vingtaine d'exemples depuis un siècle et demi. Les débris s'éparpillent le long de la trajectoire

et, après plusieurs révolutions, ils peuvent être très loin les uns des autres. On connaît d'ailleurs plusieurs groupes (des « familles ») de comètes suivant des orbites similaires et qui sont certainement issues d'astres plus gros. Dans cette optique, la Terre pourrait avoir heurté deux ou plusieurs membres d'une telle famille en traversant chaque année son orbite. Il n'est donc pas impossible que la recherche d'autres impacts vers la même époque apporte des résultats positifs. Un aspect intéressant de cette théorie est que chaque impact doit avoir eu lieu vers la même époque de l'année, donc à la même saison. L'analyse fine des couches géologiques le confirmera peut-être.



SOURCE RICHARD BINZEL

Orbites de 107 astéroïdes connus passant non loin de la Terre. Ces objets ne représenteraient que cinq pour cent du total. (Source : Richard Binzel; extrait de Science, Vol 255.)

D'autres extinctions massives sont connues. L'une d'elles marque la jonction entre le Triassique et le Jurassique (« T-J ») il y a 205 millions d'année. Elle est évidemment moins bien connue, mais semble présenter pas mal d'analogies avec l'extinction K-T, comme le fait d'avoir été très rapide à l'échelle géologique.

En même temps que les recherches sur le passé géologique de notre planète, l'étude de l'espace proche nous amène à nous poser des questions sur la sécurité relative du vaisseau spatial Terre. En observant systématiquement les astéroïdes se déplaçant très rapidement dans le ciel, c'est-à-dire ceux qui passent le plus près de nous, les astronomes en sont arrivés à la conclusion que de nombreux astéroïdes de petite taille (jusqu'à quelques kilomètres) croisent l'orbite de la Terre. La probabilité de collision peut être estimée à partir de l'étude statistique des cratères connus. On trouve qu'un astéroïde ou une comète d'une taille comprise entre cinquante et quelques centaines de mètres heurte notre globe tous les 200 ou 300 ans. Le dernier impact de ce genre est celui qui a fait trembler la Sibérie en 1908.

Certains astronomes pensent que, tout comme les impacts responsables de l'extinction K-T, certaines collisions pourraient venir en chaîne. De toute façon, les risques méritent d'être évalués, et des projets de détection plus sophistiqués sont en cours. De même on étudie sérieusement les moyens de détruire ou de détourner les astres qui auraient le mauvais goût de prendre la Terre pour cible.

* * *

Le Mont Palomar en péril

La menace ne vient pas des télescopes géants qui vont apparaître un peu partout de par le monde. Elle est posée par une décision probable (on devrait connaître le verdict au moment où ces lignes paraîtront) de la ville toute proche de San Diego qui veut rétablir un éclairage nocturne à base de lampes au sodium à haute pression en lieu et place des lampes au sodium à basse pression actuelles. Ces deux types de lampes sont bien connues en Belgique; les premières donnent un éclairage plus naturel que les secondes (celles qui inondent les autoroutes de millions de kilowatts). L'avantage du sodium basse pression est sa consommation plus faible. Celui du sodium haute pression, c'est la qualité de l'éclairage. Mais pour les astronomes, le sodium haute pression a un défaut majeur : il émet à toutes les longueurs d'onde et pollue donc toute la gamme des

rayonnements observables. Le sodium basse pression se contente d'émettre dans deux longueurs d'onde bien précises (dans le jaune) et c'est donc une nuisance supportable pour l'observation en général.

Le but du changement d'éclairage à San Diego est de faire baisser la criminalité. On se demande en vertu de quel phénomène l'éclairage jaune serait plus propice aux malfaiteurs. Et pourquoi le remplacer par un autre qui entraînerait des dépenses plus élevées?

Quant à l'idée de fermer le Mont Palomar, malgré l'aura prestigieuse qui entoure ce nom, un responsable local a simplement fait remarquer que le site serait idéal pour installer un restaurant.

Le plus grand télescope du monde

Ca y est, la dernière pièce du puzzle est en place : le télescope Keck vient de recevoir le trente-sixième élément constitutif de son miroir géant de dix mètres de diamètre. Après quelques mois d'essais et de tests intensifs, le télescope devrait devenir pleinement opérationnel dès le début de l'année prochaine. Pendant ce temps la construction d'un jumeau, Keck II, devrait commencer à quelque 85 mètres de là. Les deux télescopes, situés sur le volcan Mauna Loa à Hawaï, pourront travailler ensemble et obtenir une définition inégalée sur le ciel en combinant leurs faisceaux lumineux.

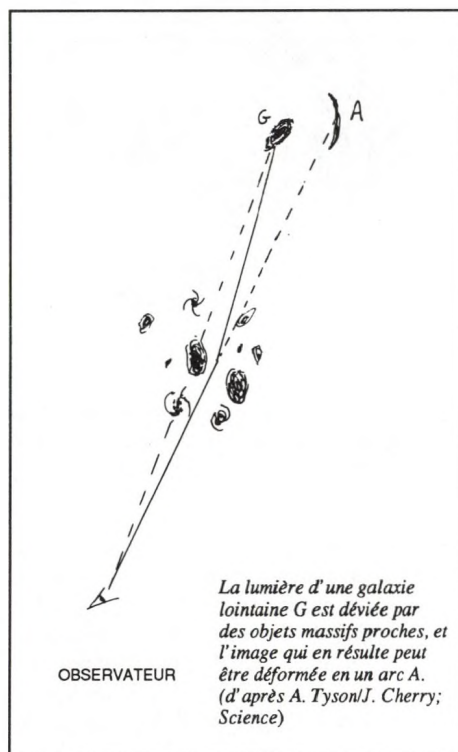
Quelques utilisations possibles d'une illusion cosmique

Basé partiellement sur *Science*,
Vol 256, 3 April 1992

Lorsque l'astronome Jacqueline Hewitt et ses collègues du MIT ont voulu mesurer la distance d'un quasar situé aux confins de l'univers, ils ont utilisé une lentille à l'échelle du problème, puisqu'elle mesure des milliers d'années-lumière de diamètre. Cette lentille,

dite « gravitationnelle » n'est pas faite de verre, mais elle utilise la déformation de l'espace par une galaxie. Lorsqu'une telle lentille se trouve entre nous et un quasar, l'image de ce dernier peut être dédoublée.

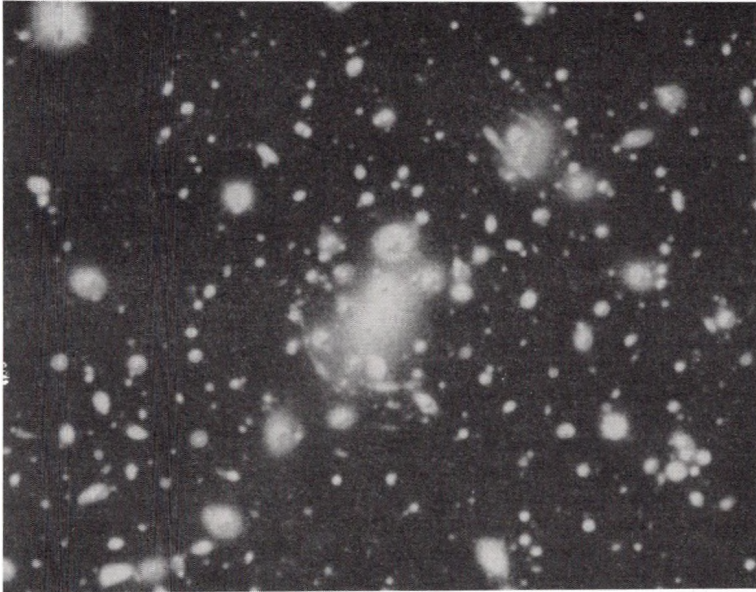
Durant les treize dernières années les astronomes — et parmi eux un groupe liégeois dont nous avons déjà parlé à plusieurs reprises pour ses nombreux succès dans le domaine — ont découvert maintes lentilles gravitationnelles. Ces lentilles peuvent donner d'un point lumineux une image amplifiée en dimension comme en brillance apparente. Elles peuvent le transformer en un arc ou le décomposer en plusieurs morceaux. Mais maintenant qu'ils connaissent bien le phénomène, les astronomes l'utilisent pour déduire de nouvelles connaissances sur l'univers. Ils peuvent ainsi apprendre des choses à la fois sur l'objet observé et sur la lentille elle-même.



Par exemple, on pense qu'une grande fraction (peut-être 99 pour cent) de la masse de l'univers est « cachée »; elle ne se manifeste pas sous la forme d'étoiles ou de nébuleuses, mais elle pourrait être décelée par son action gravifique.

C'est Duncan Walsh, de l'Université de Manchester qui, avec ses collègues, ont les premiers reconnu un quasar double comme étant l'image donnée par une lentille gravitationnelle. Les deux composantes avaient exactement le même spectre, et donc la même distance et les mêmes caractéristiques physiques. La coïncidence était très troublante. Il

était peu probable que deux astres aussi semblables se trouvent côte à côte, et c'est ce qui a permis d'en déduire la nature exacte. Depuis lors les astronomes ont trouvé d'autres quasars doubles, mais aussi triples et même quadruples. Ils ont également trouvé des arcs mystérieux, gigantesques, que l'on ne pouvait pas expliquer par des astres d'un type connu. Ces objets se sont révélés être des galaxies déformées par d'immenses lentilles gravitationnelles. Dans un cas exceptionnel, l'alignement de la lentille et de la galaxie est si parfait que l'image de celle-ci est un bel anneau complet, et non un arc.



Cet amas géant de galaxies déforme l'image de galaxies beaucoup plus éloignées en arcs.

Parfois, au lieu de ces énormes lentilles, une simple étoile peut déclencher le phénomène si son mouvement l'entraîne dans la ligne de visée d'un quasar ou d'une étoile plus distante. C'est ce que l'on appelle une micro-lentille, dont l'effet ne dure que quelques instants, puisque les mouvements relatifs des astres ont tôt fait de détruire l'alignement. Les astronomes Paczynski et Narayan pensent ainsi avoir vu une étoile passer devant un quasar. C'est en tout cas leur interprétation d'une fluctuation de la brillance d'un quasar — ou plutôt de l'une des images d'un quasar triple. Ils en déduisent la taille du quasar, car plus celui-ci est grand, et moins l'étoile peut avoir d'effet. Le quasar aurait une dimension équivalente à celle du système solaire, ce qui est en accord avec l'hypothèse que le phénomène quasar est la conséquence de l'action d'un trou noir très massif. En même temps, ces astronomes ont estimé la masse de l'étoile responsable de l'effet de micro-lentille : un dixième de celle du Soleil.

Les variations d'intensité des composantes d'un quasar dédoublé par une lentille sont forcément les mêmes, puisqu'il s'agit du même objet. Mais elles se voient avec un décalage temporel car la lumière nous en parvient en suivant des trajets différents. L'écart temporel peut, moyennant quelques hypothèses sur la géométrie de la lentille, donner la distance du quasar. Cette méthode est indépendante de la technique habituelle de mesure des distances, qui utilise le décalage vers le rouge (le « redshift ») des raies spectrales. Il est très important de pouvoir disposer de mesures indépendantes car, sujettes à de nombreuses erreurs, les distances sont encore fort mal connues. Le groupe de Jacqueline Hewitt est le premier à avoir fait usage de cette technique qui pourrait apporter une meilleure connaissance de l'âge de l'univers.

Les astronomes espèrent observer des lentilles dans d'autres domaines de longueurs d'onde. On ne sait pas encore si les mystérieux sursauts gamma que le satellite GRO observe systématiquement sont très proches ou très lointains. S'ils sont très lointains, ils pourraient de temps à autre prendre naissance derrière une lentille gravitationnelle. On observerait alors des sursauts venant pratiquement d'un même

point et qui seraient des images gamma du phénomène. Cela ne pourrait se produire s'ils sont très proches de nous.

L'étude de la matière cachée de l'univers peut se faire au moyen des amas de galaxies qui peuvent agir comme des lentilles extrêmement grandes. La photo de la page 187 montre un de ces amas contenant les images en arc de plusieurs galaxies beaucoup plus lointaines. Si la masse visible sous forme de galaxies était la seule responsable de l'effet de lentille gravitationnel, cet effet devrait être bien plus faible que ce que montre l'observation. La distribution de cette masse cachée peut même être étudiée et on la trouve assez uniforme dans l'amas, sans concentrations marquées auprès des galaxies individuelles. Cependant, le fait que la lentille existe montre qu'il existe bien une concentration dans l'amas. La matière cachée a donc une structure inhomogène qui fournit quelques indications sur sa nature et son origine. Cette répartition semble exclure qu'il s'agisse de neutrinos massifs. Ils se déplacent trop librement. Des particules beaucoup plus lourdes et lentes seraient plus concentrées et ne pourraient pas rendre compte non plus des observations.

En général on parvient à distinguer la galaxie ou l'amas qui fait office de lentille. Mais dans certains cas on ne voit rien. Existe-t-il des « galaxies » totalement invisibles, faites uniquement de matière obscure ? Ce serait une découverte de la plus haute importance.

Il apparaît de plus en plus clairement que la matière visible de l'univers est distribuée de façon inhomogène, les amas de galaxies étant répartis en filaments ou le long de surfaces séparant d'immenses régions vides. En analysant la structure à grande échelle des effets de lentille gravitationnelle, l'astronome Roger Blandford espère déterminer si la matière obscure suit le même type de distribution irrégulière. Peut-être constitue-t-elle le squelette sur lequel s'accroche la matière visible ?

Mais le phénomène de lentille gravitationnelle ne se cantonne pas aux régions aussi éloignées de l'univers. On devrait l'observer de temps à autre dans notre Galaxie même. C'est là qu'interviennent les MACHO (*Massive Compact Halo Objects*) qui seraient des pseudo-étoiles trop froides pour rayonner par réactions nucléaires (les « naines brunes »), ou

des planètes échappées d'un système solaire, ou encore des trous noirs — c'est-à-dire toutes sortes d'astres assez compacts mais n'ayant pas de luminosité propre. Si un objet de ce type se place par hasard dans la ligne de visée d'une étoile beaucoup plus lointaine, l'éclat de celle-ci varie pendant un court instant; c'est le même phénomène que la micro-lentille dont nous avons parlé plus haut. Ce phénomène doit être très rare car le diamètre apparent des étoiles est minuscule comparé aux distances énormes qui les séparent. On s'attend donc au mieux à un événement par milliard d'étoiles observées. L'arrivée de détecteurs modernes du type de ceux utilisés dans certaines caméras vidéo (mais de qualité bien supérieure), et le dépouillement des observations par de puissants ordinateurs permettent de s'attaquer à ce problème. Plusieurs équipes (dont une à l'Observatoire Européen Austral, à La Silla) recueillent ainsi en quasi-permanence des images à très grand champ, contenant des centaines de milliers d'étoiles, et regardent si l'une ou l'autre d'entre elles n'a pas subi un sursaut révélateur. Les cibles favorites sont les Nuages de Magellan, dont les étoiles sont beaucoup plus loin que les MACHOS de notre Galaxie, et peuvent être observées individuellement. Naturellement beaucoup d'autres raisons que le micro-lensing peuvent faire varier la brillance d'une image, ne serait-ce que les variations intrinsèques que connaissent de nombreuses étoiles. Tout cela doit être analysé en détail et un tri sévère doit être fait. On se trouve un peu dans des conditions analogues à celles des chasseurs de particules élémentaires qui cherchent l'oiseau rare parmi un fourmillement d'événements anodins.

Tous ces exemples montrent la puissance de l'outil que constitue le phénomène de lentille gravitationnelle. Les applications qu'il permet semblent sans limites.

* * *

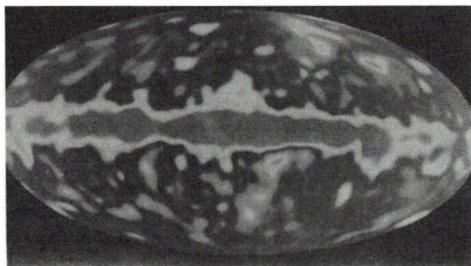
Le Big Bang prend des rides

Nature, Vol 256, May 1
Science, Vol 356, April 30

En 1927, l'abbé Georges Lemaître, de l'Université Catholique de Louvain, proposait la théorie révolutionnaire de l'atome primitif et du « Big Bang » pour expliquer l'expansion de l'univers. En 1965 cette théorie était confirmée de splendide façon par la mesure du rayonnement « cosmologique » à 3 degrés Kelvin par Penzias et Wilson. Ce rayonnement a été émis quelques centaines de milliers d'années après le Big Bang, lorsque l'univers a cessé d'être opaque. C'est à ce moment qu'ont été créés les premiers atomes. Auparavant les particules chargées et les photons du rayonnement électromagnétiques étaient intimement liés.

Le rayonnement était alors très chaud, c'est-à-dire de très courte longueur d'onde. On sait qu'un corps que l'on porte à des températures de plus en plus élevées rayonne d'abord dans l'infrarouge, puis dans le rouge, puis il devient blanc. Lorsque la température atteint des dizaines de milliers de degrés, l'émission en ultraviolet devient prépondérante, puis ce sont les rayons X etc. Le rayonnement cosmologique était donc initialement très chaud, mais l'expansion continue de l'univers depuis ces temps reculés a entraîné un redshift (décalage vers le rouge) très important, de sorte que la température n'en est plus que de 3 degrés absolus (2,736 K pour être précis). Ce n'est même plus dans le domaine de l'infrarouge, mais dans celui des ondes radio.

Au tout début de l'univers (dès 10^{-35} sec!) l'explosion, qui était parfaitement homogène, a dû commencer à montrer une certaine anisotropie. Des zones plus denses devaient jouxter des zones moins denses, préfigurant ce qui un jour devait devenir les grandes structures de l'univers, comme les groupements d'amas de galaxies que l'on observe sur une échelle de l'ordre de centaines de millions d'années-lumière. Ces structures gigantesques ont dû apparaître très tôt, sinon elles n'auraient pas eu le temps d'évoluer vers ce que l'on observe actuellement.



Le ciel en ondes millimétriques montre les fluctuations primordiales de l'univers. D'un contour au suivant la température varie de 0,27 milliardième de degré. (Cliché NASA)

L'observation du rayonnement cosmologique montre l'univers tel qu'il était dans son premier million d'années. On devrait donc y distinguer des signes d'anisotropie si la théorie du Big Bang est correcte, les zones les plus denses devant être un peu plus chaudes, et les zones moins denses un peu plus froides que la moyenne. Mais ces non-uniformités sont très faibles et, malgré l'amélioration considérable de la précision des mesures faites au sol depuis la découverte de Penzias et Wilson, le rayonnement cosmologique s'est toujours révélé bien homogène (si l'on excepte l'effet de notre mouvement propre qui entraîne un décalage Doppler bien reconnaissable, le rayonnement étant un peu plus froid d'un côté du ciel que de l'autre). Ainsi, parmi les théories concurrentes, celle dite des « textures » prévoyait des écarts à l'uniformité atteignant un dix millième, en une dizaine de régions bien marquées, d'environ dix degrés de diamètre. La théorie de « l'inflation » prévoyait des variations du même ordre de grandeur mais moins piquées.

Le but du satellite COBE (Cosmic Background Explorer) était d'analyser le rayonnement relique, d'en déterminer toutes les caractéristiques avec une très grande précision, et de permettre aux théoriciens de se faire une meilleure représentation des premiers instants de l'univers. COBE réussit d'abord à montrer que le spectre du rayonnement relique est bien conforme à la théorie du Big Bang, c'est-à-dire que sa répartition en fréquence suit celle prédite par les modèles. Mais dans un premier temps les inhomogénéités spatiales restèrent invisibles. Elles étaient en-dessous de la pré-

cision des mesures. Ensuite apparut une première structure, que l'on appelle quadrupolaire car elle se manifeste par deux zones chaudes et deux froides. Ce n'est qu'en mars que l'accumulation des données permit d'aller plus loin, et de mesurer l'écart entre les observations et le champ quadrupolaire. Cet écart que l'on voit dans la figure ci-jointe, représente en principe les inhomogénéités plus fines de l'univers. Mais, l'instrument étant à la limite de ses possibilités, il s'y superpose un important « bruit » de mesure.

Les dimensions angulaires des inhomogénéités vont de 7° à 90° . L'amplitude des fluctuations en température est en général de l'ordre du cent millième de degré.

Certaines des caractéristiques observées sont difficilement conciliables avec les théories actuelles. En particulier il est difficile de comprendre à la fois les structures de grande dimension et celles de plus petite taille. S'ils se réjouissent d'être enfin arrivés à déceler les fluctuations primordiales de l'univers, les astrophysiciens attendent impatiemment la confirmation que pourraient apporter une analyse plus fine des observations, ou des mesures faites depuis l'Antarctique, ou par ballons. D'autre part les théoriciens s'emploient déjà à élaborer de nouveaux modèles permettant de mieux intégrer les données de COBE.

* * *

Giotto ressuscite!

Six ans après sa rencontre avec la comète de Halley, la sonde Giotto s'en va explorer une nouvelle comète, en juillet.

ESA, note d'information n°8
du 12 mai 1992

Le jeudi 7 mai 1992 à 16h00, heure européenne (CET), la réactivation réussie de la sonde européenne Giotto a été confirmée par les ingénieurs du Centre Européen d'Opérations Spatiales (ESOC) à Darmstadt, Allemagne. Il aura fallu trois jours de manœuvres fort délicates et complexes avant de recevoir le signal radio qui marquait le retour du vaisseau sous contrôle terrestre et son entière obéissance aux commandes.

Giotto reprend donc du service. Après s'être parfaitement acquittée de sa mission initiale en 1986 — dévoiler le noyau de la comète de Halley — elle renaît et s'en va maintenant aborder une seconde comète. Une première dans l'histoire de l'exploration du système solaire : « Jamais un engin construit par l'homme n'avait encore visité deux comètes de suite », souligne Roger Maurice Bonnet, le directeur du programme scientifique de l'ESA, « et ce tour de force est européen ».



Le noyau de Halley par Giotto en 1986. (Cliché ESA)

La rencontre aura lieu le 10 juillet prochain, à 17 h 25 (CET), avec la comète Grigg-Skjellerup (du nom de ses deux co-découvreurs néo-zélandais et sud-africain, respectivement), à moins de 1.000 km de distance, 50.000 km/h de vitesse relative, et promet déjà d'être l'un des événements scientifiques de l'année.

Pour la première fois, deux comètes de suite

« Par bien des aspects, Giotto est une mission d'exception », reprend le Dr Bonnet. « C'est, tout d'abord, la première sonde que l'ESA ait lancée dans l'espace profond. Nous aurions pu nous attendre à quelques problèmes, quelques imperfections de jeunesse... Eh bien non !. Jusqu'ici tout s'est passé mieux que prévu. Ensuite, elle est la première à s'être approchée à moins de 600 km d'une comète, elle nous a envoyé des images du noyau de la comète de Halley, et pour cela elle restera dans

l'histoire, tout autant que les sondes américaines Voyager qui ont exploré les planètes lointaines. Enfin, en réveillant la sonde aujourd'hui, ce qui n'est pas facile, croyez-moi, nous préparons une seconde exploration. Nous allons apprendre quelque chose de nouveau, sur une comète complètement différente de celle de Halley. En comparant ces deux objets qui ont subi une évolution distincte, nous remonterons jusqu'à leur origine commune, jusqu'à la naissance de notre système solaire. En cela, la mission Giotto est unique ».

Plusieurs jours d'opérations « en aveugle »

Les opérations de réveil ont commencé le lundi 4 mai, à 16 h 55 (CET). « Pour bien comprendre la difficulté extrême de l'entreprise, il faut remarquer deux choses », explique Manfred Grensemann, responsable du projet de prolongation de la mission Giotto (GEM, Giotto Extended Mission), au Centre européen de recherche de technologie spatiales (ESTEC), aux Pays-Bas. « D'abord, la sonde se trouve à 220 millions de kilomètres de la Terre, deux fois plus loin que lorsque nous l'avions laissée la dernière fois le 23 juillet 90, ce qui affaiblit d'un facteur cinq les liaisons radio ».

Ensuite, Giotto n'a pas du tout été conçue pour une seconde mission et encore moins pour être réactivée à une telle distance. En phase d'hibernation, l'antenne principale d'1 m 40 de diamètre n'est plus pointée vers la Terre et est donc inutilisable. Pour reprendre contact avec l'engin, il a donc fallu s'adresser à une antenne secondaire, bien moins sensible, qui n'était sensée servir qu'au tout début de la mission, lorsque Giotto se trouvait encore très près de la Terre.

Une configuration si défavorable qu'à l'inverse, au sol, il a fallu faire appel à l'artillerie lourde, aux antennes les plus puissantes disponibles actuellement, celles du Deep Space Network américain, le DSN, ou Réseau de l'espace lointain. « La NASA a mis à notre disposition ses trois antennes de 70 m de diamètre, et qui délivraient 100.000 W chacune », précise Howard Nye, Directeur des opérations en vol pour GEM. Elles se répartissent sur tout le globe : l'une à Canberra, en Australie, l'autre près de Madrid, en Espagne et la dernière à Goldstone, dans le désert californien, aux Etats-Unis.

Mais, même avec ces super-antennes terrestres, seul un mince chuchotement était perçu en provenance de Giotto, et aucun signal intelligible ne parvenait à Terre. Les techniciens ont donc dû opérer essentiellement « en aveugle », envoyant des commandes « dans le vide » pendant plusieurs jours.

« Sans recevoir aucune donnée de la sonde, les techniciens ont tout de même pu vérifier que la sonde répondait et entraînait en mouvement », raconte le directeur des opérations. « Nous avons opéré ainsi pendant plusieurs jours, selon une stratégie très complexe prenant en compte tous les états dans lesquels pouvait se trouver le vaisseau et les dommages qu'il avait pu subir!... »

Enfin, le 7 mai, le signal tant attendu est arrivé à l'ESOC; ouf de soulagement. L'antenne principale était pointée vers la Terre, la communication était établie et le resterait vraisemblablement jusqu'en juillet.

Pendant les deux prochains mois, les techniciens et ingénieurs de l'ESA vont procéder à un bilan de santé complet de la sonde, entre-coupé toutes les semaines de manœuvres d'attitude qui maintiendront la grande antenne pointée en direction de la Terre. Tous les systèmes de bord vont être testés afin d'identifier les défaillances qui ont pu surgir suite au long séjour dans le vide et à l'exposition aux radiations cosmiques. D'ultimes corrections de trajectoire seront introduites pendant les quinze derniers jours précédant la rencontre. Les instruments scientifiques seront mis en route et vérifiés à partir du premier juillet (lorsque le vaisseau sera assez proche du Soleil pour pouvoir assurer leur alimentation en électricité).

Une campagne d'observation internationale

« Objectif : droit sur la comète », explique Gerhart Schwehm, le responsable scientifique du projet GEM. Après avoir un temps hésité, les responsables de l'ESA ont finalement opté pour un passage « au plus près » du noyau, au risque d'une éventuelle collision. C'est la solution la plus intéressante sur le plan des mesures et Giotto devrait ainsi arriver à passer à moins de 1.000 km de distance. De plus, le noyau est suffisamment petit, moins de 3 km de diamètre, pour que la probabilité d'un choc réel reste faible, moins d'une chance sur un

million.

En fait, c'est l'incertitude sur la trajectoire de la comète qui limite la distance à laquelle la sonde va pouvoir s'approcher. En 1986, une flottille de sondes soviétiques et japonaises (Véga 1 et 2; Sakigake et Suisei) avaient précédé Giotto dans sa rencontre avec Halley et avaient permis de la guider avec précision jusqu'au noyau cométaire. Cette année, la sonde européenne n'a plus ces précieux éclaireurs à sa disposition et sa caméra de bord est en panne; le problème de détermination de la trajectoire se pose donc avec plus d'acuité encore. Aussi, une campagne internationale d'observations au sol se déroule-t-elle depuis quelques mois, qui a pour but de préciser au maximum d'orbite de Grigg-Skjellerup afin d'ajuster jusqu'au dernier moment la trajectoire de la sonde. Les mesures effectuées dans la plupart des grands observatoires du monde (Calar Alto en Espagne, Kitt Peak en Arizona, La Silla et Cerro Tololo au Chili, Siding Spring en Australie...) sont regroupées à l'ESOC et les dernières corrections seront introduites deux jours avant la rencontre.

Giotto rescapée, un « miracle »

« Mais le plus extraordinaire dans ce retour de Giotto aujourd'hui, c'est bien que la sonde n'ait absolument pas été prévue pour une seconde mission », lance le Dr Schwehm, enthousiaste. « Giotto fut exclusivement conçue en fonction de sa rencontre avec Halley ». Elle s'est rapprochée du noyau, nous en a montré des images, révélant sa noirceur extrême et son relief, elle a fourni les premières mesures in situ du gaz, des poussières et du champ magnétique cométaires. Et pour cela, elle a dû pénétrer à l'intérieur de l'atmosphère cométaire et résister à une pluie de particules équivalant à 50 fois la force explosive d'une balle de fusil.

À l'époque, beaucoup de monde, et la presse en particulier, pensaient qu'elle n'en sortirait pas vivante ou, du moins, que ses instruments de bord en seraient tous fortement endommagés. « Et voilà, la sonde a survécu, plus de 70% de ses 11 expériences scientifiques sont encore en ordre de marche, et tout cela nous le devons au savoir-faire technique européen ».

La précision du lancement par Ariane 1, le 2 juillet 1985, est également à l'origine de l'économie de gaz propulseur, l'hydrazine, qui a autorisé la prolongation de la mission.

L'Europe grand leader de l'exploration cométaire

Pourquoi une seconde mission? « La rencontre avec Grigg-Skjellerup va fournir des résultats scientifiques majeurs sur une comète évoluée et peu active qu'il est de toute première importance de comparer avec Halley (« jeune » et vigoureuse, au contraire), pour se faire une idée d'ensemble de la population de comètes qui composent notre système solaire. Etant donné que tous ces corps de glace cosmiques se sont formés au même moment, au tout début de la naissance de notre Soleil, les points communs de Grigg-Skjellerup et Halley refléteront certainement de précieuses caractéristiques de la nébuleuse primitive qui a donné naissance à notre étoile et aux planètes, il y a 4,5 milliards d'années », répond Gerhard Schwehm.

Le coût de la seconde mission est estimé aujourd'hui à 5,5 millions d'unités de compte (UC), à comparer aux 170 M UC de la mission initiale estimées en 1986 (à peu près 300 M UC actuels). « En ce sens, c'est l'une des missions les moins coûteuses jamais lancées dans l'espace lointain », souligne Manfred Grensemann.

Enfin, même si ce n'est pas la raison principale, l'on pense déjà aux futures missions d'investigation cométaire. « Il ne faut pas oublier qu'avec Giotto, l'Europe a pris la tête de l'exploration in situ dans le système solaire », souligne le responsable scientifique, « notre projet Rosetta reste seul en lice pour une nouvelle vague d'exploration cométaire ». Aussi est-il utile d'examiner en détail l'environnement de poussières cométaires pour préparer ce genre de mission. Le projet Rosetta est l'une des pierres angulaires du programme à long terme de l'ESA Horizon 2000, qui prévoit au début du 21^e siècle un atterrissage automatique sur une comète pour en rapporter des échantillons.

En attendant, Giotto fonce vers le point de rencontre. Les principaux investigateurs scientifiques seront présents à l'ESOC à partir du premier juillet pour tester leurs instruments et procéder à une première analyse en direct des données.

Selon un bilan provisoire, 7 des 11 expériences initiales devraient fonctionner pendant la rencontre et fournir des mesures de poussières, de molécules, du plasma et du champ magnétique (EPA, OPE, MAG, DID, JPA, GRE, IMS); une est opérationnelle mais inutilisable du fait de la configuration défavorable de la rencontre (PIA). Les trois autres, dont la caméra couleur HMC, ont été endommagées. Des essais de la caméra sont toujours prévus, mais sans grand espoir. Il semblerait que l'objectif soit obstrué par un lambeau de Kevlar du baffle protecteur.

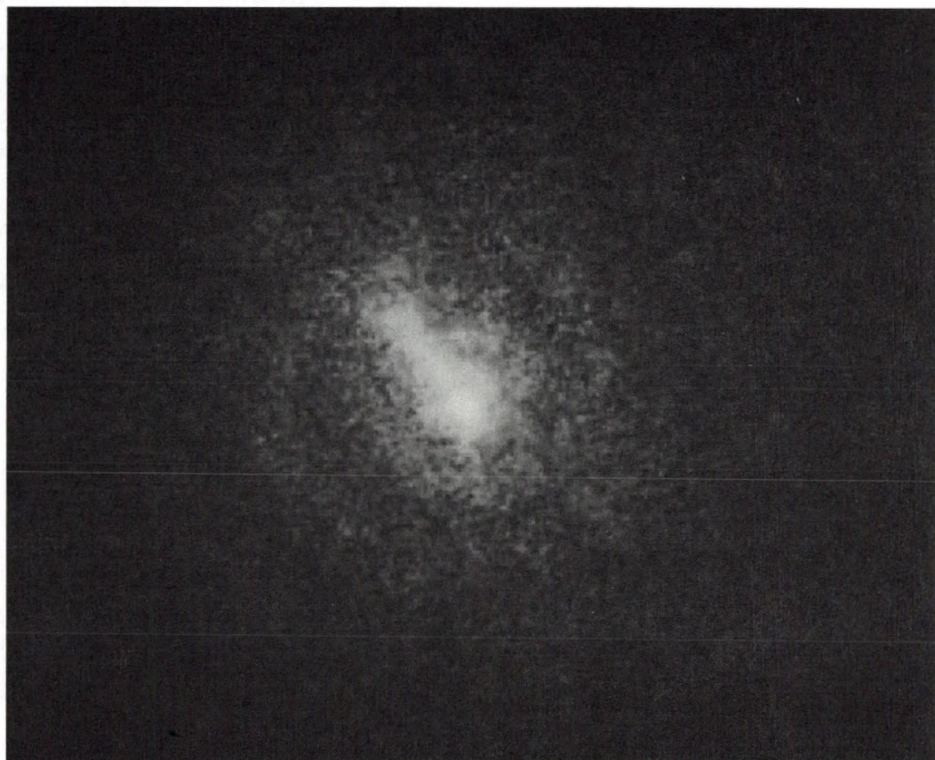
* * *

Un jet dans la galaxie NGC 3862

Basé sur le communiqué PR04/92 de l'ESO, en date du 7 mai 1992

Philippe Crane de l'Observatoire Européen Austral a découvert un « jet » optique dans la galaxie NGC 3862 grâce à des observations effectuées par le Hubble Space Telescope (HST). Cette galaxie, la sixième en importance dans l'amas Abell 1367, était connue pour émettre des rayons X et montrer un jet en ondes radio.

On pense que les jets galactiques trouvent leur énergie dans un trou noir très massif situé au cœur du noyau des galaxies. Ils acheminent cette énergie vers l'extérieur. On ne sait pas pourquoi la plupart des jets ne sont visibles qu'en ondes radio. On ne sait pas non plus pourquoi les jets visibles optiquement peuvent sembler aussi différents. Ainsi le jet de NGC 3862 n'a guère de similitudes avec celui de M87 (beaucoup plus long et moins riche en ultraviolets; voir *Le Ciel*, mars 1992, page 83).



High-Energy Jet in NGC 3862

Le jet dans la galaxie NGC 3862. Cette image a été obtenue avec une caméra construite par l'Agence Spatiale Européenne et placée à bord du télescope spatial HST. La longueur d'onde est de 3400 Angstroms, à la limite du domaine visible et de l'ultraviolet. La résolution spatiale est de 0,06 seconde d'arc.