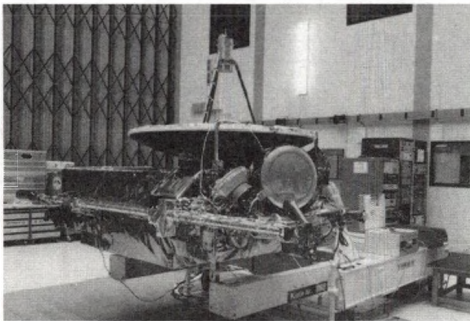


L'astronomie dans le monde

Ulysse, un voyage vers l'inconnu

La sonde Ulysse sera le premier vaisseau spatial à survoler les pôles du Soleil (voir la chronique spatiale de Théo Pirard dans *Le Ciel*, de janvier 1990, page 11). Ulysse sera le second vaisseau de l'ESA, après Giotto, à s'aventurer loin dans le système solaire. La fenêtre de lancement s'ouvrait du 5 au 23 octobre 1990. Il fallait en profiter sous peine de devoir attendre pendant 13 mois que Jupiter et la Terre reprennent des positions analogues (c'est la durée de la révolution synodique de Jupiter : ainsi les oppositions et les conjonctions de Jupiter ont lieu tous les 13 mois). Nous verrons plus loin ce que vient faire Jupiter dans cette affaire.



Le lancement par la Navette spatiale Discovery a eu lieu sans incident le 6 octobre à 11h47 TU, mettant fin à une longue série de déboires de la NASA. Six heures après le décollage, la séparation d'Ulysse et de Discovery s'est faite dans des conditions parfaites. L'opération a eu lieu au moment où la navette survolait le Pacifique. Quinze minutes après la séparation, la navette manœuvrait pour s'éloigner d'Ulysse. On pouvait alors

déclencher la mise à feu des deux moteurs du premier étage, l'IUS, accolé à la sonde, et envoyer celle-ci sur sa trajectoire initiale.

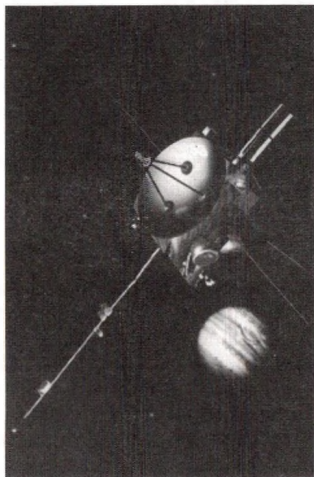
Après largage de l'IUS, l'opération suivante a consisté à stabiliser la charge utile en lui imprimant une rotation de 70 tours par minute. Après extinction des moteurs de stabilisation, la vitesse de rotation a ralenti pour retomber à environ 7 tours par minute. Simultanément, l'allumage de l'étage supérieur (PAM) a porté la vitesse d'Ulysse à plus de 15,4 km/sec (plus grande vitesse jamais atteinte par un objet construit par l'homme), lui imprimant une accélération de 11g. Une petite correction de trajectoire était prévue, en cas de besoin, une dizaine de jours après le lancement. Dix-neuf jours plus tard la sonde recevra l'ordre de larguer plusieurs panneaux de protection, après quoi les bras seront déployés.

Rappelons que la sonde n'est que l'un des deux engins de ce qui aurait dû être tout d'abord la mission *Out-of-Ecliptic (OOE)*, puis l'*International Solar Polar Mission (ISPM)*, destinée à étudier les deux pôles solaires simultanément. En raison des retards qui se sont accumulés sur le programme des Navettes, et ensuite de grosses difficultés budgétaires, la NASA jeta aux oubliettes les plans de son vaisseau. L'ESA, qui avait beaucoup progressé dans l'étude du sien, décida de poursuivre seule.

Une trajectoire paradoxale

Il faut une très grosse quantité d'énergie pour propulser un vaisseau spatial en dehors de l'écliptique (plan de l'orbite terrestre) et l'amener au-dessus des pôles solaires. Aucun lanceur n'est actuellement capable de fournir directement cette énergie. On lance généralement les satellites dans le sens de la rotation de la Terre, c'est-à-dire vers l'est, pour profiter

de cette vitesse additionnelle. De même les sondes interplanétaires sont envoyées dans la direction du mouvement de la Terre autour du Soleil. L'apport est ici d'une trentaine de kilomètres par seconde, et il serait difficile de s'en passer. Ces sondes partent donc approximativement dans le plan de l'écliptique. Si l'on veut réaliser une orbite perpendiculaire au plan de l'écliptique, ce qui est le cas si l'on veut survoler les pôles du Soleil, il faut annuler la composante de la vitesse dans ce plan et lui imprimer une vitesse perpendiculaire équivalente. Au total, cela implique que l'on fournisse une vitesse de plus de 40 km/sec pour atteindre une orbite polaire d'un rayon d'une unité astronomique.

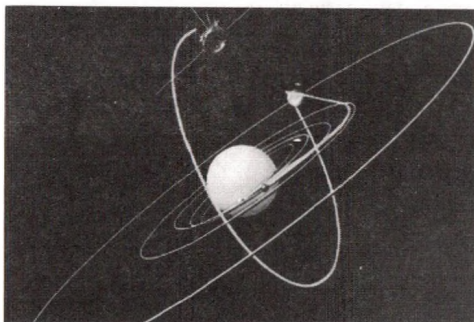


Mais les scientifiques ont plus d'un tour dans leur sac. Ils ont pensé à profiter de l'énorme gravitation de Jupiter, la plus massive de toutes les planètes. Ainsi, paradoxalement le vaisseau s'éloigne d'abord du Soleil. Mais en s'éloignant, les vitesses nécessaires pour changer d'orbite deviennent plus faibles. A la distance de Jupiter, la vitesse orbitale n'est plus que de 14 km/sec. L'énergie à fournir au vaisseau spatial pour annuler sa vitesse dans le plan de l'écliptique et acquérir

cette même vitesse dans une direction perpendiculaire est réduite pratiquement au tiers de la valeur au niveau de la Terre. Et c'est Jupiter qui s'occupera de ce transfert. Approchant un peu au nord de la planète géante, la trajectoire d'Ulysse s'infléchira et, comme par l'effet d'une fronde, le vaisseau sera envoyé jusqu'à 320 millions de kilomètres « au-dessous » du pôle sud du Soleil.

Le mouvement d'un objet est en effet modifié lorsqu'il traverse un champ de gravitation intense. On peut ainsi utiliser le champ de planètes pour atteindre des régions autrement inaccessibles. Remarquons que le coup de pouce que recevra Ulysse n'est pas gratuit. Il se fera aux dépens de Jupiter dont l'énergie diminuera. Jupiter se rapprochera de façon imperceptible du Soleil.

Le voyage vers la planète géante durera 16 mois. Deux ans et demi plus tard, Ulysse survolera le pôle sud solaire, et un an plus tard elle survolera le pôle nord. En tout le périple aura pris cinq ans.



Pour aller jusqu'à Jupiter, distant de 780 millions de kilomètres du Soleil, il faut une sonde d'un type différent de celles qui tournent autour de la Terre. Des capteurs solaires ne pourraient générer une puissance suffisante pour alimenter le vaisseau (Jupiter étant cinq fois plus loin du Soleil que nous, la puissance solaire utilisable y est vingt-cinq fois plus faible). Le champ magnétique très intense de Jupiter retient autour de la planète une zone de radiations cosmiques extrêmement dangereuses (qui seraient fatales à un astronaute, et qui ont déjà donné pas mal de fil à retordre aux

- mieux comprendre les rayons cosmiques galactiques en allant les observer au-dessus des pôles, là où les particules chargées de faible énergie peuvent plus facilement pénétrer dans le système solaire ;
- étudier la composante neutre du gaz inter-stellaire abondant notre système solaire en mesurant ses propriétés à diverses latitudes ;
- analyser les poussières interplanétaires tout autour du Soleil ;
- observer les sources de rayonnement gamma et mieux les localiser ;
- tenter de découvrir des ondes gravitationnelles grâce aux liaisons radio.

Ces dernières ondes, prédites par la théorie de la relativité générale d'Einstein, sont un peu analogues aux ondes lumineuses. Elles se déplacent à la même vitesse et emportent avec elles une certaine quantité d'énergie. On n'a pas encore pu les détecter directement, mais elles pourraient donner d'incalculables informations sur des phénomènes astrophysiques mettant en jeu des énergies colossales. Il devrait y avoir des émissions brèves, provoquées par des événements catastrophiques au sein d'un noyau de galaxie ou l'explosion d'une supernovae, et aussi une émission continue dont l'origine pourrait remonter aux premiers temps de l'Univers.

Le but déclaré de la mission Ulysse est le Soleil, mais les scientifiques en attendent bien plus. Ainsi que le disait Peter Wenzel, Project Scientist de la mission :

« Le Soleil et l'héliosphère sont comme un énorme laboratoire astrophysique. Nous sommes amenés à une meilleure compréhension de ses mécanismes : les autres étoiles ne nous donnent qu'une faible et lointaine lueur, alors qu'en observant le Soleil, nous pouvons apprendre énormément sur ces étoiles. »

Jupiter actif ou passif?

Nous avons vu comment la sonde Ulysse allait profiter de l'assistance passive de Jupiter en utilisant son puissant champ de gravitation pour infléchir sa trajectoire et sortir de

l'écliptique. Cette technique qui met à profit les lois de la mécanique céleste est de plus en plus utilisée. La sonde Galileo dont l'objectif final est Jupiter se dirige tout d'abord vers Vénus, puis repasse près de la Terre. Bien d'autres exemples pourraient être cités.

Ces manœuvres sont bien délicates et demandent la plus grande précision pour réussir parfaitement. Si l'on commet une erreur de quelques dizaines de kilomètres dans l'approche de la cible, le vaisseau part dans une direction toute différente de celle que l'on souhaite.

Mais... ce n'est pas tout. Comme vous allez le voir, l'humour ne perd jamais ses droits. Si l'on en croit un journal belge réputé, c'est encore bien plus complexe. En fait le coup de pouce que veut bien donner Jupiter semble lié à une modification de son champ gravitationnel qu'il réalise périodiquement (peut-être après consultation avec la NASA) :

Son « détour » vers Jupiter, la plus éloignée des planètes de notre système, est nécessaire pour atteindre l'astre tout en évitant les perturbations dans le champ de l'écliptique. Au moment où « Ulysse » atteindra la planète géante, en février 1992, celle-ci modifiera son champ gravitationnel, permettant à la sonde de rebondir vers l'orbite solaire. Ce qui explique la nécessité de son lancement à une date fixe.

Nous apprenons du même coup que la sonde va atteindre le Soleil, et non en survoler les pôles à deux unités astronomiques comme essaient de nous le faire croire l'ESA et la NASA. Et ne reculant devant aucune difficulté elle évitera l'écliptique.

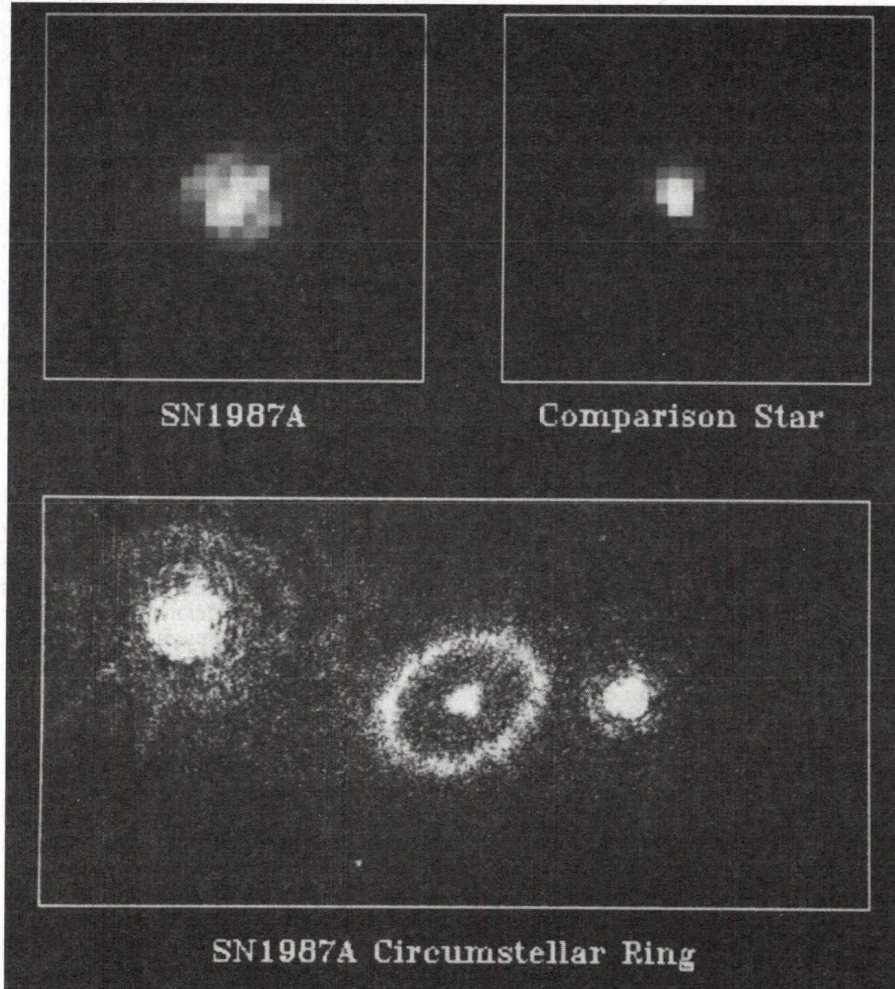
Notons aussi que Jupiter est enfin reconnue comme étant la plus éloignée des planètes du système solaire.

Qui dit mieux?

Images du HST

(Adapté de l'Information Note ESA du 10 septembre 1990)

Nous continuons à présenter quelques-unes des toutes premières images obtenues par la Faint Object Camera de l'ESA, embarquée sur le télescope spatial Hubble.



La supernova du Grand Nuage de Magellan. En haut à gauche, une vue à haute résolution qui montre l'extension atteinte par l'objet après plus de trois ans d'expansion (comparer avec l'image ponctuelle d'une étoile, à droite). En bas une image plus générale révélant l'existence d'un anneau lumineux autour de la supernova.

1 La supernova 1987A du Grand Nuage de Magellan

Depuis son explosion en février 1987, la supernova du Grand nuage a été observée continuellement à la fois depuis le sol et l'espace. Après avoir augmenté son éclat d'un facteur 100, l'astre s'est ensuite affaibli de plus d'un million de fois. Libérée de l'éclat éblouissant de l'étoile, la petite région très voisine devenait observable.

La théorie et les observations spectroscopiques indiquaient que la supernova était en expansion rapide (quelques milliers de kilomètres par seconde). En trois ans et demi, on pouvait donc s'attendre à ce qu'elle ait atteint une taille de l'ordre du dixième d'année-lumière, soit cent fois le système solaire. A la distance de 170.000 années-lumière, cette dimension correspond à un angle d'un ou deux dixièmes de seconde, trop petit pour être résolu depuis le sol.

L'une des premières images à haute résolution de la supernova est présentée dans le cadre supérieur gauche du cliché ci-joint. Elle a été prise dans l'ultraviolet, à la longueur d'onde de 275 nanomètres (un nanomètre vaut un millième de micron, ou encore dix Angströms). L'image de droite montre ce que l'on observe dans le cas d'un objet ponctuel, une étoile. En comparant les deux, il est clair que la supernova présente une certaine étendue. On peut mesurer un diamètre de l'ordre de 0,15 secondes d'arc. Bien que la résolution soit encore insuffisante, nous avons donc les premières images directes de l'enveloppe en expansion. Ceci démontre les qualités du HST, malgré son aberration de sphéricité.

La partie inférieure du cliché montre un champ plus grand, avec la supernova au centre, flanquée de part et d'autre par deux étoiles. Le halo que l'on aperçoit autour de chaque objet est causé par le défaut du miroir, mais l'anneau entourant la supernova est bien réel. Il a un rayon moyen d'environ 0,8 seconde d'arc, ce qui, à la distance du Grand nuage de Magellan, se traduit par une dimension réelle de trois quarts d'année-lumière. L'enveloppe

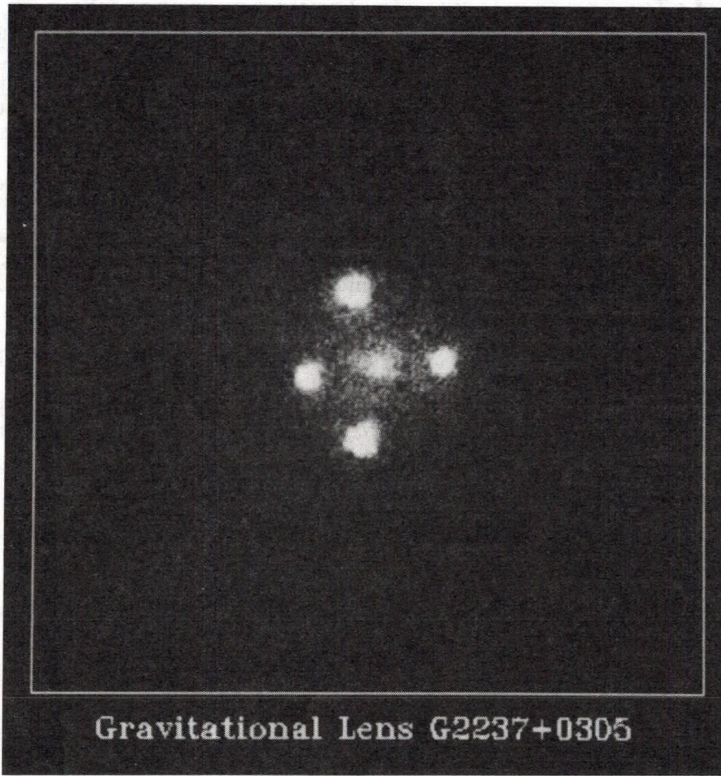
de la supernova n'aurait pu atteindre de si grandes proportions en quelques années seulement. On en conclut qu'il s'agit d'une structure qui existait déjà avant l'explosion et dont l'origine doit être cherchée dans les vents stellaires soufflés au cours de l'existence tourmentée de l'étoile. Cette structure a été rendue lumineuse par l'ionisation et l'excitation provoquée par le rayonnement intense de celle-ci — rayonnement qui a mis neuf mois pour y parvenir. L'enveloppe de débris, dans son expansion continuelle, finira par rencontrer cet anneau et le détruira d'ici un siècle.

2 La lentille gravitationnelle G2237+0305

La « Faint Object Camera » embarquée par le Space Telescope a également transmis la meilleure image jamais obtenue de la lentille gravitationnelle G2237+0305 — parfois appelée « Croix d'Einstein ». Le cliché de la page suivante montre quatre images distinctes d'un quasar très lointain. Ces images ont été formées par l'effet de lentille gravitationnelle d'une galaxie plus proche. La séparation angulaire entre l'image du haut et celle du bas est d'environ 1,6 seconde d'arc.

Le quasar est à une distance d'environ 8 milliards d'années-lumière, alors que la galaxie n'est qu'à 400 millions d'années-lumière, soit vingt fois moins. Les rayons lumineux qui nous parviennent du quasar sont infléchis lorsqu'ils passent à proximité de la galaxie. Cet effet optique provoque l'apparition des quatre images du quasar entourant celle, plus floue, de la galaxie.

La construction d'images par ce processus est beaucoup plus complexe que par une lentille simple. La position exacte de l'objet massif par rapport à la ligne de visée, et la structure elle-même de l'objet, qui n'est pas ponctuel, ont leur importance. Dans le cas présent on s'attend à ce qu'une cinquième image, plus faible, existe tout près de la galaxie centrale. Peut-être une analyse détaillée du cliché par ordinateur pourra-t-elle faire ressortir cette cinquième composante?



La croix d'Einstein, lentille gravitationnelle donnant une image quadruple d'un quasar très lointain. La galaxie qui remplit le rôle de la lentille est au centre de la croix. Elle est beaucoup plus proche de nous que le quasar. Son champ d'attraction courbe les rayons lumineux qui passent à proximité et donne ainsi ces curieux effets optiques.

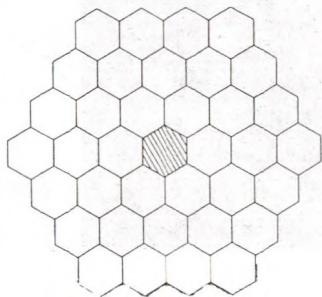
Les lentilles gravitationnelles comme G2237+0305 sont plus que des curiosités dans l'univers. Elles permettent d'obtenir des renseignements très importants. Par exemple il est possible d'estimer la masse des galaxies faisant office de lentille, en analysant les images créées. Cette analyse sera facilitée par la plus grande précision de la Faint Object Camera. Il est aussi possible d'estimer l'âge de l'univers en déterminant ce que l'on appelle la constante de Hubble — constante qui caractérise la vitesse d'expansion de l'univers. Les quasars sont des objets dont la luminosité

varie beaucoup. Chaque image doit présenter ces mêmes variations, mais elles ne le font pas en phase car le trajet parcouru par les rayons lumineux est plus ou moins long. Des différences de plusieurs mois ou années peuvent exister. Une étude complète des déphasages pourrait conduire à une meilleure estimation de la constante de Hubble.

L'analyse détaillée de la Croix d'Einstein et d'autres images de même type apportera aussi d'utiles indications sur la structures des galaxies.

Le plus grand télescope du monde

Le télescope qui sera le plus grand au monde est en bonne voie d'achèvement. Nous présentions dans *Le Ciel* de janvier 1988 (page 14) les images de la construction de la coupole qui devait abriter le télescope Keck, sur le volcan Mauna Kea, à Hawaii. La coupole est maintenant terminée, de même que la structure du télescope. Le miroir de dix mètres de diamètre est réalisé non pas en un seul bloc, mais sous la forme d'une mosaïque de segments hexagonaux (voir figure). Chacun de ces segments doit être poli avec la plus grande précision afin qu'une fois mis ensemble, ils simulent parfaitement un miroir géant.



Structure mosaïque du miroir de dix mètres du télescope Keck.

Après quelques déboires initiaux — la mise en œuvre d'une nouvelle technique n'est jamais sans surprises — la production de ces segments semble se dérouler normalement. Neuf d'entre eux devaient être installés fin octobre. Le télescope est ainsi prêt pour recevoir sa « première lumière » du ciel. Si les segments viennent s'ajouter à la cadence prévue, et si les tests sont concluants, le télescope sera fin prêt dès l'année prochaine.

Remarquons qu'avec neuf miroirs, le télescope Keck dispose déjà d'une surface collectrice égale à celle du Palomar. Ce n'est donc plus qu'une question de quelques semaines avant que ne soit détrôné définitivement le six mètres russe. Les autres projets de télescopes géants devraient voir le jour les uns après les autres d'ici la fin du siècle. Dès l'année prochaine, le MMT (Multi Mirror Telescope) qui jusqu'à présent disposait d'une surface collectrice complexe, équivalente à un miroir de 4m50, recevra un nouveau miroir monolithique de 6m50. Devraient ensuite suivre une série de télescopes de huit mètres : un américain « Magellan », au Chili, deux italo-américains aux USA, et bien sûr les quatre télescopes européens qui formeront le VLT (Very Large Telescope) au Chili.

Magellan

La sonde Magellan progresse dans sa mission d'exploration de la surface de Vénus au moyen d'ondes radar. La résolution de ses instruments lui permet de voir des détails de 120 mètres, atteignant ainsi une résolution dix fois meilleure que ses prédécesseurs. Le travail ne fait que commencer. Magellan n'a encore étudié que deux pour cent de la planète. Vénus est en quelque sorte une planète jumelle de la Terre.

Sa proximité du Soleil lui a conféré une atmosphère bien plus dense et chaude que la nôtre. Mais la structure du globe lui-même devrait être assez semblable pour les deux astres. Une différence fondamentale entre la surface de Vénus et celle de la Terre est que notre planète est soumise à une érosion intense par l'eau. Celle-ci tente d'effacer les reliefs au fur et à mesure qu'ils se construisent. Sur Vénus, au contraire, on peut lire l'histoire géologique à livre ouvert. On comprend donc l'impatience des scientifiques. On la comprend encore mieux si l'on sait qu'il arrive à la sonde, sans raison apparente, de perdre la tête et de rompre le contact avec les stations d'écoute, et ce pendant plusieurs heures. Jusqu'à présent le hasard a voulu que l'on puisse renouer le dialogue. Qu'en sera-t-il les prochaines fois? Magellan pourra-t-il mener à bien sa mission?