

L'astronomie dans le monde

Feu d'artifice

Ainsi, la comète Shoemaker-Levy 9 s'est abîmée avec fracas dans l'atmosphère insondable de la planète géante Jupiter (voir *Le Ciel*, janvier 94 pages 6–12 et juin 94 pages 190–198), donnant aux astronomes médusés un spectacle assez extraordinaire.

Comme nous l'expliquions dans ces colonnes, si la date de l'événement était connue avec une assez grande précision, les ma-

nifestations étaient extrêmement difficiles à prévoir. Plusieurs théories s'affrontaient (pacifiquement) qui annonçaient toutes sortes de scénarios, depuis des explosions visibles à l'œil nu, jusqu'à l'absence quasi totale de perturbations à la surface de la planète.

Avec une telle marge de sécurité, les astronomes ne risquaient guère d'être pris en défaut. Et, effectivement, c'est entre les deux extrêmes que se situa le phénomène. Ce qui devrait donner aux théoriciens de solides bases pour leurs modèles d'impact.

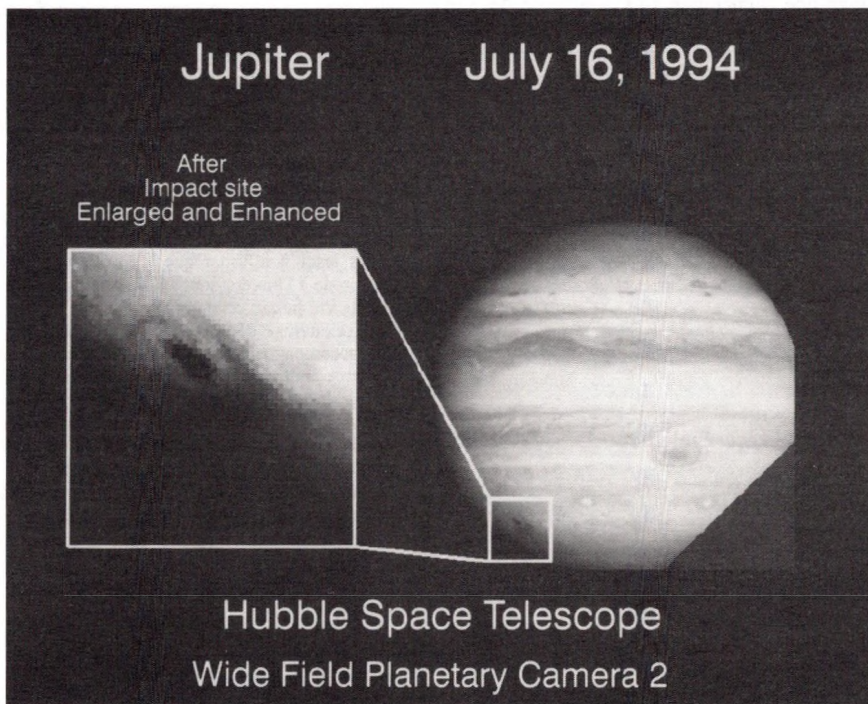


Image par le Hubble Space Telescope de l'impact du premier fragment de Shoemaker-Levy 9, le 16 juillet, 1h30 après l'instant de l'impact. Le croissant obscur s'étendant vers le bas est peut-être un nuage de débris provenant de la comète et éjecté vers l'arrière (la comète venait de cette direction) ou, au contraire, un nuage d'éjectas de la planète. L'image fut prise dans le violet à la longueur d'onde de 410 nanomètres (soit 4100 angstroms ou 0,41 microns). (Cliché NASA/HST)

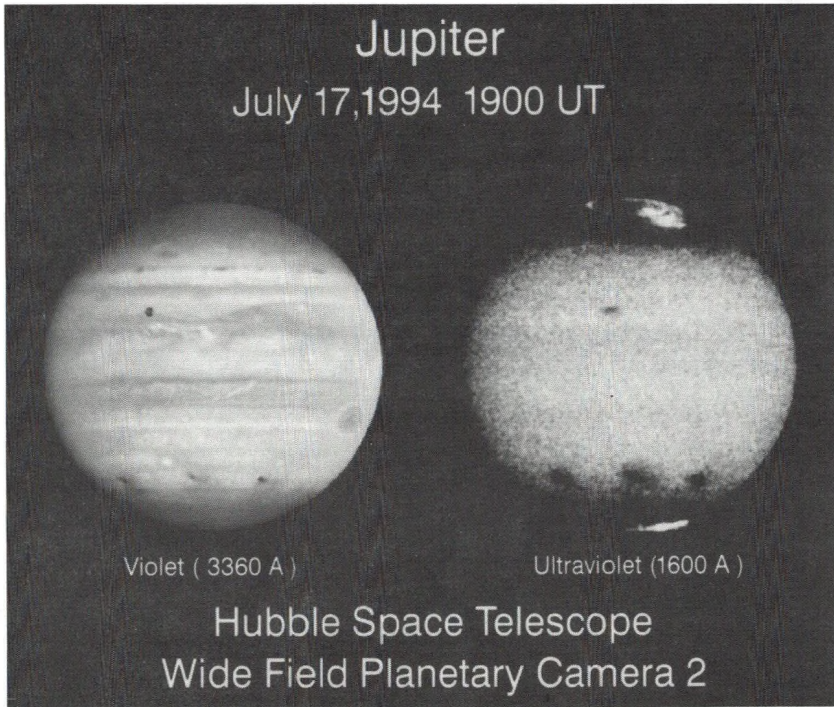


Image par le Hubble Space Telescope des sites d'impact C, A et E (de gauche à droite) respectivement 12, 23 et 4 heures après ces collisions, le 17 juillet à 19h30 TU. La photo de gauche est en lumière violette, celle de droite en ultraviolet. Au nord, on voit l'ombre du satellite Io. La Grande Tache Rouge est visible au bord droit de l'image violette. Les aurores polaires se détachent nettement en ultraviolet ; elles sont provoquées par des particules chargées parcourant les lignes de force du champ magnétique jovien, et heurtant les molécules d'hydrogène de la haute atmosphère. L'image à 3360 angstroms est beaucoup plus détaillée que l'autre en raison du faible flux lumineux et de la faible sensibilité de la caméra en UV. Remarquons que les sites d'impacts paraissent plus étendus en UV, ce qui est sans doute dû à la nature des particules absorbantes déposées en altitude. (Cliché NASA/HST)

Mais la réalité est plus complexe. On sait que la comète s'était fragmentée lors d'un passage antérieur près de Jupiter. C'est donc à toute une série d'impacts que l'on a assisté entre le 16 et le 22 juillet. Chaque impact s'est révélé différent du précédent, de sorte qu'une théorie simple semble à exclure d'emblée.

Amateurs comme professionnels s'étaient soigneusement préparés pour passer cette semaine extraordinaire à l'oculaire d'un télescope ou devant un écran d'ordinateur. La moisson de résultats est considérable.

Dès les premières collisions, la plus pe-

tite lunette pouvait mettre en évidence de spectaculaires cicatrices sombres sur le disque de Jupiter. Les images photographiques et, surtout, CCD se sont accumulées, ainsi que les spectres dans tous les registres des ondes électromagnétiques.

Les images ci-jointes donnent une idée de ce que l'on pouvait observer dans des conditions idéales (Hubble Space Telescope). Malheureusement, dans notre pays, le mauvais temps et la faible hauteur de Jupiter au-dessus de l'horizon n'ont pas favorisé les observations. En fait, nous n'avons encore reçu aucun

rapport positif de la région liégeoise !

Ceux qui avaient pris la précaution d'emporter une lunette lors de vacances dans le Sud de l'Europe ont été gâtés. Qu'ils n'hésitent pas à nous faire part de leurs observations.

Les documents recueillis par les professionnels sont aussi innombrables qu'intrigants. Le consensus est qu'il faudra quelques mois d'analyse avant de donner des interprétations réalistes de ce que l'on a vu.

Jamais Jupiter n'avait été étudié avec un tel acharnement. Parmi les spectres, quels sont les détails anormaux ? Telle ou telle petite raie est-elle la conséquence d'un impact, ou s'agit-il de l'activité habituelle de la planète ? Par contre, les explosions lors des impacts, et les marques laissées sur le globe de Jupiter sont d'indiscutables conséquences. Il reste à en expliquer la formation et l'évolution postérieure.

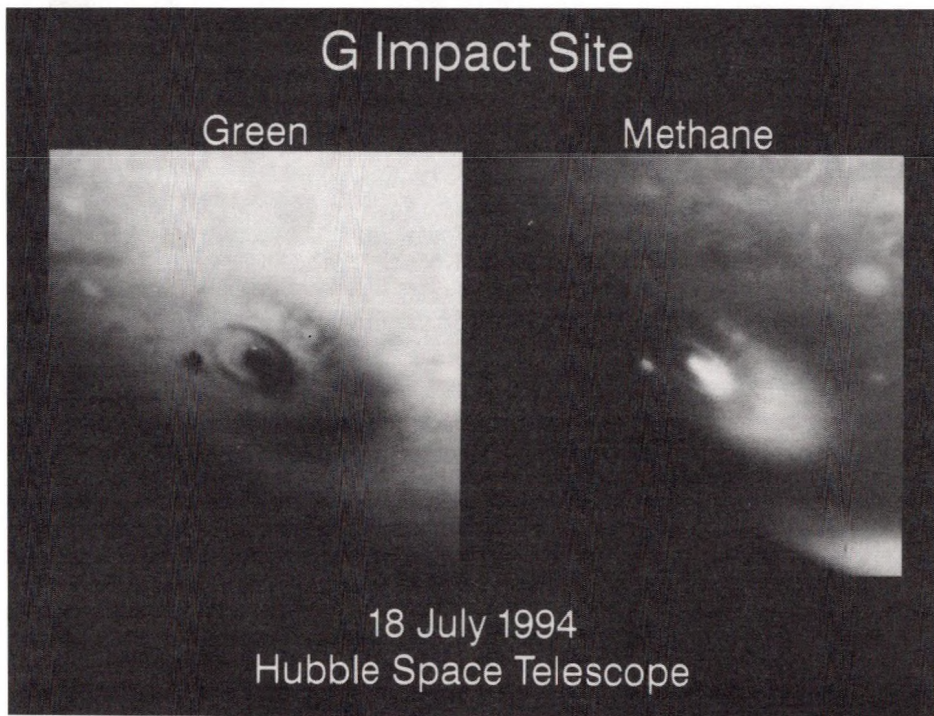
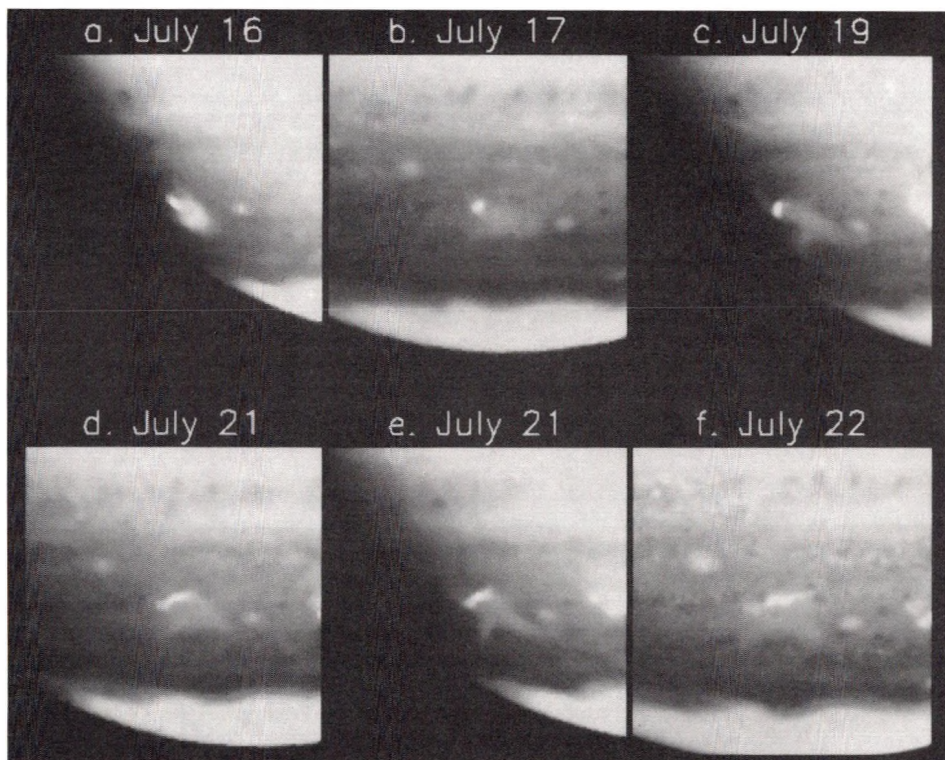


Image par le Hubble Space Telescope des impacts D (la petite tache) et G (le gros « cratère »). L'image de gauche est en lumière verte (5550 angstroms), celle de droite dans une longueur d'onde invisible caractéristique du méthane à 8890 angstroms. Cette molécule est abondante dans l'atmosphère de Jupiter. Elle absorbe fortement la lumière à 8890 angstroms. L'image de droite paraît donc sombre partout, sauf là où les particules dispersées par la chute de la comète reflètent la lumière solaire. En lumière visible, au contraire, les nuages de Jupiter sont plus réfléchissants que ces particules. L'impact G est vieux d'une heure environ, alors que le petit point situé à sa gauche est dû au fragment D, tombé un jour plus tôt. Le cratère intérieur mesure 2500 kilomètres de diamètre, le cratère extérieur 12000 km. On distingue à nouveau le croissant caractéristique s'étendant dans la direction de la provenance de la comète. (Cliché NASA/HST)



Vue détaillée et redressée des sites D et G, obtenue par le Hubble Space Telescope. Il s'agit d'une image composite superposant trois filtres (9530, 5550 et 4100 angstroms) (Cliché NASA/HST)



L'évolution du site A est retracée par le Hubble Space Telescope entre le 16 et le 22 juillet, dans une longueur d'onde du méthane. Les particules en suspension apparaissent en surbrillance. (Cliché NASA/HST)

L'examen des clichés de la comète avant son impact laissait penser que le plus massif des noyaux, et donc celui possédant le plus d'énergie cinétique, était Q, d'ailleurs composé de deux fragments principaux (voir *Le Ciel* de juillet 94, page 191). Mais ce n'est pas lui qui donna lieu à l'événement principal. Ce fut G, qui en s'abattant le 18 au matin donna le « cratère » le plus impressionnant à l'oculaire.

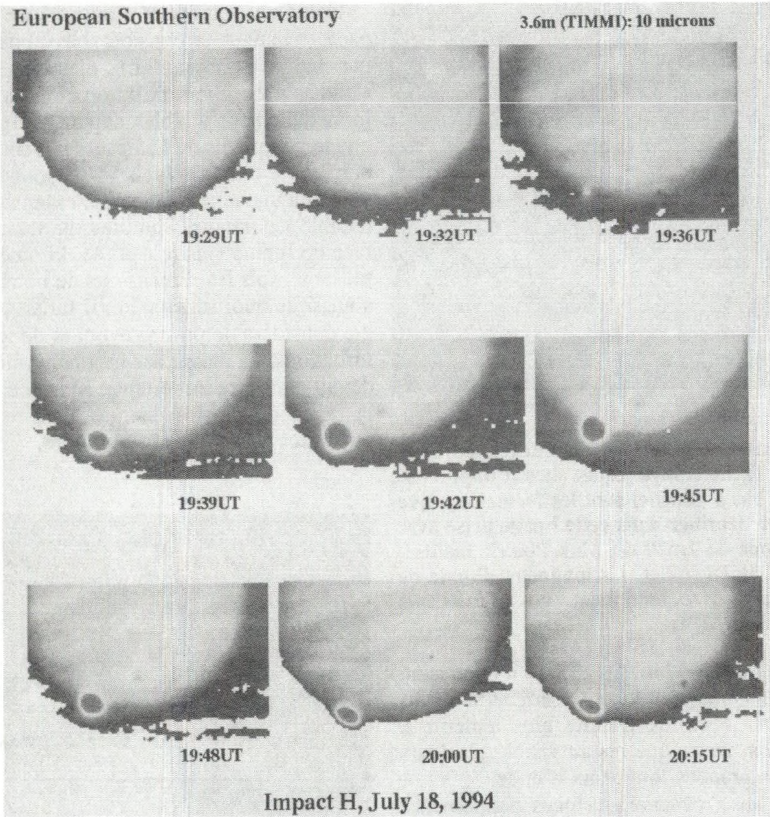
Il n'est évidemment pas question de cratère solide dans l'atmosphère de Jupiter, mais d'une structure plus ou moins temporaire, destinée à se dissiper au gré des vents. Le site G resta d'ailleurs le plus stable de tous pendant plusieurs jours, marquant ainsi Jupiter d'une Grande Tache Noire aussi curieuse que reconnaissable. Le second site par importance

fut H, formé le 19, et qui eut une structure très complexe. Les impacts E, K et L furent également bien visibles même dans un tout petit télescope. Les plus grands des sites s'étendaient sur une trentaine de milliers de kilomètres, dimension comparable à celle de la Grande Tache Rouge, mais leur contraste plus marqué avec le reste de la surface planétaire en faisait des détails bien plus évidents pour l'observateur.

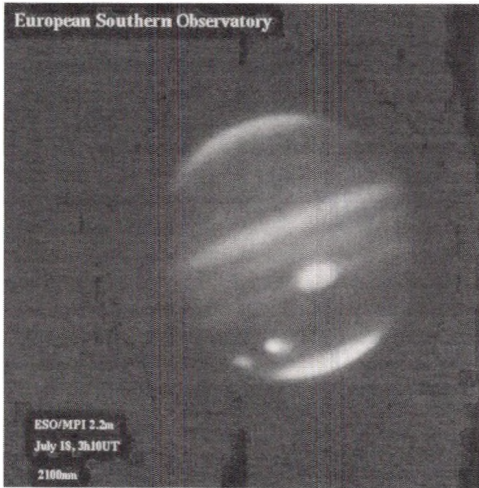
Les grands observatoires situés de façon favorable, c'est-à-dire ayant Jupiter haut dans le ciel (La Silla, Tololo, Hawaii, Siding Spring, Sutherland, etc.), mais aussi des sites exceptionnels comme le Pic du Midi ou la base du pôle sud (où Jupiter était visible sans interruption, si l'on excepte quelques passages

nuageux) ont observé des événements plus discrets mais d'importance capitale, dans la mesure où la météo était clémente. C'est ainsi que l'on a pu voir la formation d'un panache

dès l'arrivée de chaque noyau (ou presque), la retombée de celui-ci et son étalement dans les hautes couches de l'atmosphère, et la formation d'un « cratère ».



Si l'utilisation d'un filtre isolant une bande d'absorption du méthane, où Jupiter paraît très sombre, permet de voir les nuages d'impact en surbrillance, l'imagerie à grandes longueurs d'onde donne la priorité à l'émission thermique des nuages portés à haute température par la dissipation de l'énergie dans la collision. Ainsi, dans cette séquence de six images obtenues à l'observatoire européen de l'ESO (La Silla, Chili), à la longueur d'onde de dix microns, on voit se développer une « boule de feu » lors de l'impact du fragment H, le 18 juillet à 20h TU. En fait la température n'est que de l'ordre de 300 Kelvin, mais c'est très chaud par rapport au reste de la surface. Le point sombre situé un peu à droite de l'impact H est tout ce qui reste (à 10 microns) de l'impact G survenu 12 heures plus tôt et qui avait donc effectué un peu plus d'une rotation depuis. Remarquons incidemment que les circonstances de cet impact étaient assez favorables pour une observation depuis chez nous, en début de soirée. En raison de la situation géographique, les observations depuis le Chili eurent lieu en plein jour, ce qui était peu gênant à cette longueur d'onde, d'autant plus que Jupiter était alors bien haut dans le ciel. (Cliché ESO, télescope de 3m60)



Les calottes polaires, quelques bandes, la Grande Tache Rouge, et les sites d'impacts A et E (en bas à gauche) sont les formations que l'on peut identifier dans cette image prise avec le télescope de 2m20 du Max Planck Institut, à l'ESO, le 18 juillet. La longueur d'onde de 2,1 microns correspond à nouveau au méthane. (Cliché ESO/MPI)

La brillance en infrarouge (due à l'émission thermique) atteignait très rapidement un maximum pour décroître ensuite plus lentement. L'émission thermique restait visible plusieurs jours aux grandes longueurs d'onde.

On a aussi observé quelques phénomènes symétriques par rapport à l'équateur, sans doute dus au transport de particules entre les deux hémisphères le long des lignes de force du puissant champ magnétique jovien.

Un phénomène dont on attendait beaucoup était la réflexion de la lumière des impacts par les satellites. Le satellite Europe était particulièrement bien situé le 19 juillet, durant une éclipse, lors de l'impact K. Malgré ces conditions idéales, rien n'a été observé dans le visible. Tout au plus semble-t-il que la couleur de Io ait varié (rougissement) durant quelques minutes lors d'un autre impact. Tout cela mérite une analyse plus poussée.

L'observation des émissions radio et des

interactions avec l'anneau de poussières et le tore de particules lié à Io fut tout aussi peu concluante. Ces phénomènes ne semblent guère avoir été perturbés par le remue-ménage lié à l'arrivée de Shoemaker-Levy 9.

Comment expliquer l'importance des impacts et la hauteur considérable du nuage créé par chaque explosion ? Les éjections s'élevant à plusieurs milliers de kilomètres devenaient immédiatement visibles depuis la Terre alors que le lieu précis de l'impact était encore situé derrière le bord de Jupiter ! Personne ne s'attendait à une telle ampleur. L'extension considérable des nuages sombres marquant la surface de Jupiter (jusqu'à 30000 kilomètres, soit plusieurs fois les dimensions de notre globe !) a aussi de quoi surprendre. Il fallait une énergie considérable pour provoquer de telles perturbations. La masse des fragments cométaires devait donc être importante. Mais c'est surtout la façon dont cette énergie s'est manifestée qu'il faut chercher à comprendre.

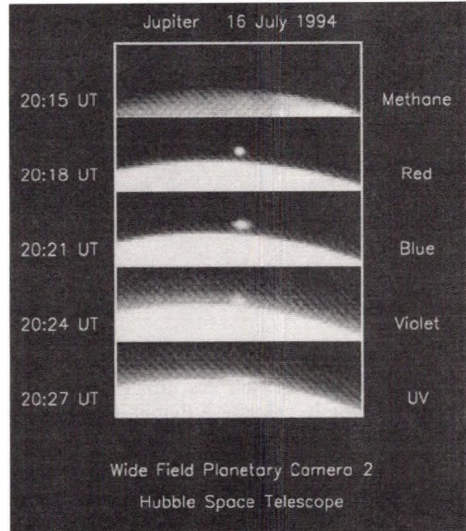
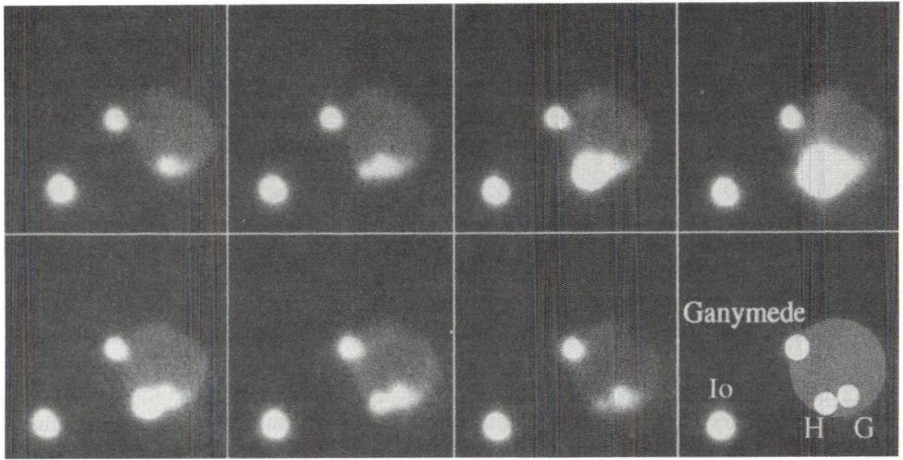


Image par le Hubble Space Telescope de l'explosion d'un fragment de SL/9, de l'apparition d'un panache de particules, et de son étalement dans la haute atmosphère de Jupiter. (Cliché NASA/HST)



Le pôle antarctique se caractérise par une sécheresse exceptionnelle et par un temps souvent dégagé. L'altitude élevée et la longueur de la nuit ajoutent aux qualités astronomiques de ce site. Aussi y a-t-on installé une station d'observation comprenant le télescope SPIREX (South Pole Infrared Explorer). Ce fut une aubaine pour l'observation de la collision de SL/9 avec Jupiter, la planète géante étant constamment à une quinzaine de degrés au-dessus de l'horizon (et le Soleil sous celui-ci !), alors que les autres observatoires devaient se contenter généralement des premiers instants de la soirée pour réaliser leurs mesures. La mosaïque reproduite ci-dessus montre l'impact H observé à la longueur d'onde de 2,36 microns à partir de 19h21 TU. Les images se succèdent à cinq minutes d'intervalle. On voit à gauche les satellites Io (en bas) et Ganymède. Le point changeant violemment d'éclat est évidemment le site de l'impact H, alors que l'autre point brillant à sa droite est le reste de G. (Comparer avec l'image prise à l'ESO à 10 microns.) (Document SPIREX)

Le modèle faisant appel à des noyaux cométaires de masse très importante de quelques kilomètres de diamètre conclut à une pénétration très profonde de l'atmosphère jovienne. Dans ce cas, la résurgence en surface de matériaux profonds aurait été observée par les spectrographes, ce qui ne fut pas le cas. On pense que l'atmosphère jovienne supérieure comprend une couche élevée de nuages contenant de l'ammoniac. En-dessous de celle-ci se trouve une couche contenant des composés de soufre et d'ammoniac et, plus bas encore, à une centaine de kilomètres, une couche riche en eau.

Les observations spectrographiques, bien qu'encore sujettes à analyse, concluraient à la présence d'ammoniac et à celle de composés du soufre dans les éjections, mais il ne semble

pas que l'on ait observé beaucoup d'eau. La couche profonde n'a donc pas été atteinte par les fragments de SL/9.

De plus la structure en deux « cratères » concentriques fait penser à un scénario selon lequel une onde très superficielle, de propagation rapide crée l'anneau extérieur, large et diffusant rapidement, et une onde plus profonde crée l'anneau intérieur, plus fin et d'expansion plus lente. Ce dernier serait formé dans la couche nuageuse contenant de l'ammoniac, alors que l'anneau extérieur se propagerait dans les couches les plus hautes de l'atmosphère. C'est donc à l'abord même de l'atmosphère que l'énergie se serait principalement déposée, et non dans les couches plus profondes qui n'ont pas été affectées par les impacts.



Le 22 juillet, à 8h06 TU, la sonde spatiale américaine Galileo était à 238 millions de kilomètres de son but, Jupiter, et à 621 millions de kilomètres de la Terre, lorsqu'elle prit ces quatre images de la planète gazeuse, avec une perspective bien plus intéressante que depuis la Terre. L'angle Galileo – Terre – Jupiter était en effet de 50°. L'impact du fragment W a lieu en plein dans le champ de la caméra. L'intervalle entre les images (prises en lumière verte) est de 2,3 secondes. On constate que le flash dure très peu de temps, environ 7 secondes, mais qu'il est très brillant. Cet éclair survenant dès le contact avec les hautes couches de l'atmosphère n'est pas visible depuis la Terre. Galileo a pris bien d'autres images, mais ses ennuis d'antenne font qu'il doit les transmettre au compte-goutte. Ce processus durera jusqu'au début de l'année prochaine ! (Document NASA)

Comment une masse importante peut-elle être freinée si brutalement, et s'arrêter dès les couches supérieures de l'atmosphère ? Il faut supposer que chaque fragment était lui-même disloqué sous forme d'un agrégat plus ou moins lâche de blocs de taille relativement petite, présentant ainsi au total une surface importante au freinage aérodynamique. Les noyaux étaient-ils depuis longtemps sous cette forme, ou se sont-ils rompus lors de l'approche finale ? Cela reste à découvrir.

L'incertitude devant ce qui allait se produire a donc fait place à la perplexité face à ce qui s'est réellement passé. La manne de résultats observationnels a cependant de quoi satisfaire les scientifiques, tout en leur promettant des semaines et des mois de labeur acharné.

Le rôle des amateurs est primordial dans cette recherche passionnante. A tout moment, quelque part sur le globe, des télescopes profitaient de bonnes conditions météorologiques pour observer Jupiter en imagerie (visuelle, photographique ou, mieux, CCD). Ces observations, sans peut-être atteindre la résolu-

tion des meilleures images des grands observatoires ou du HST mais l'approchant parfois, assurent une continuité impossible à réaliser par les professionnels. La récolte de tout ce matériel nécessitera un certain temps mais s'annonce comme l'un des événements majeurs dans l'histoire de l'astronomie amateur. Et ce n'est pas fini. La surveillance de Jupiter après cette semaine fatidique de juillet 94 sera quasiment laissée aux seuls amateurs, les professionnels ne pouvant détourner les trop peu nombreux instruments de leurs tâches habituelles.

Une découverte inattendue lors de l'impact d'un fragment de la comète SL/9 avec Jupiter

Communiqué de presse par Pr. Jean-Claude Gérard, Laboratoire de Physique Atmosphérique et Planétaire, Institut d'Astrophysique de l'Université de Liège

Parmi les nombreuses observations effectuées entre le 16 et le 22 juillet dernier lors de l'impact des fragments de la comète Shoemaker-Levy 9 avec Jupiter, le télescope spatial Hubble a fourni une vaste moisson de résultats scientifiques. La qualité des images obtenues par ses caméras réparées lors de la mission de la navette spatiale en décembre 1993 a notamment permis d'observer les détails des perturbations créées dans l'atmosphère de la planète par chacun des fragments. Ceux-ci ont été baptisés A, B, C, ... dans l'ordre de leur arrivée sur Jupiter. Leur impact a provoqué l'apparition de taches sombres dans les domaines visible et ultraviolet et brillantes dans l'infrarouge. L'importance des « cicatrices » et la durée de leur visibilité a surpris les observateurs.

Parmi les scientifiques qui observaient le phénomène, une équipe internationale constituée de 22 chercheurs européens — dont un belge, Jean-Claude Gérard, de l'Université de Liège — et américains a obtenu une série d'images des traces d'impacts dans l'ultraviolet à l'aide des deux caméras de Hubble. L'une, européenne, la caméra pour objets faiblement lumineux (FOC) de l'Agence Spatiale Européenne présente une très grande résolution spatiale mais son faible champ d'observation (14 secondes d'arc) ne permet pas de couvrir l'ensemble du disque jovien. L'autre, américaine, la caméra planétaire (WFPC2), mise en place par les astronautes de la navette, couvre la totalité de la planète. Cette dernière a obtenu une série d'images permettant de suivre en détail l'évolution temporelle des taches sombres observées autour des points d'impact. L'une d'elles, associée au fragment G, le plus gros, a dépassé en taille la célèbre grande tache rouge observée depuis Galilée. Les objectifs scientifiques de cette équipe étaient la détection des effets des impacts sur l'atmosphère de Jupiter et sur les aurores polaires.

Les chercheurs de cette équipe ont été surpris en découvrant l'image obtenue par Hubble dans l'ultraviolet après l'impact K (document reproduit en couverture 1) qui eut lieu le 19 juillet à 10 h 18 TU. On y observe en effet une émission lumineuse située dans l'hémisphère nord de la planète alors que les impacts ont eu lieu à 44° sud. Cette émission est vraisemblablement due à la molécule H₂ qui constitue l'essentiel de l'atmosphère de la planète. La luminosité correspondante semble due à l'impact de particules chargées (électrons, ions) créées lors de l'explosion du fragment et de la boule de feu qui l'a suivie. Ces particules, guidées par les lignes de force du champ magnétique de Jupiter, sont projetées dans l'hémisphère opposé où elles entrent en collision avec l'hydrogène atmosphérique en le rendant lumineux. Cette hypothèse est confirmée par la trace du champ magnétique partant du point d'impact K, visible dans l'hémisphère sud et dont l'extrémité dans l'hémisphère opposé est située à l'emplacement des taches lumineuses.

Cette interprétation est également confirmée par des observations infrarouges effectuées simultanément au sol. Les images infrarouges prises dans les bandes d'émission de molécules H₃⁺ et H₂ montrent en effet l'apparition d'émissions à la latitude symétrique du point d'impact.

Ce phénomène est semblable aux aurores polaires, également visibles près des pôles sur l'image, et qui avaient été photographiées sur Jupiter pour la première fois par le Hubble Space Telescope. Ces aurores, comme leurs analogues terrestres, sont dues à l'excitation du gaz atmosphérique par des particules chargées accélérées dans le champ magnétique planétaire. Une analyse plus détaillée et la comparaison avec d'autres observations parallèles permettra de préciser dans les mois à venir la nature exacte du phénomène.