

Shoemaker-Levy 9 et Jupiter, l'événement planétaire de 1994

Christian Muller, Didier Moreau

Institut d'aéronomie spatiale de Belgique

Yvon Biraud, Max Cuisenier, André Marten, Khalil Hammal

Observatoire de Paris-Meudon

Gera Chountonov, Youri Balega

Observatoire astrophysique spécial (Seljensjuk)

Oleg Korablev et Sasha Rodin

Institut de recherches spatiales (IKI, Moscou)

À partir du 16 juillet 1994, les impacts successifs des fragments de la comète Shoemaker-Levy 9 sur Jupiter ont amorcé un changement profond dans une bande de latitude sud de la planète. L'observation infrarouge de deux de ces impacts a été effectuée par une équipe de l'Institut d'aéronomie spatiale de Belgique, de l'Observatoire de Paris-Meudon, de l'Observatoire astrophysique spécial (SAO, Caucase) et de l'Institut de recherches spatiales (IKI, Moscou). Ces observations ont permis de modéliser la nouvelle couche de poussières créée par les impacts. Les nuages ont été vus au moyen de la caméra CCD utilisée pour le pointage de l'instrument. Les observations de plusieurs centaines d'astronomes et celles réalisées grâce au télescope spatial Hubble confirment la présence de nuages d'impact de la taille de la Terre, diffusant lentement en longitude.

La mission

Le projet d'observation a été décrit dans ces pages (Muller *et al.*, 1994). Il faut rappeler qu'à l'époque, la majorité de la communauté astronomique mondiale n'espérait pas observer plus qu'un éclair réfléchi par un des satellites de Jupiter ; seule une minorité d'auteurs s'attendait à un accroissement du signal infrarouge à la latitude des impacts, et encore, sur la base d'émissions des gaz raréfiés de la très haute atmosphère. En bref, personne n'espérait observer un phénomène important sur la face de la planète visible de la Terre. Dans ces circonstances, à notre arrivée le 8 juillet, beaucoup de nos collègues

russe étaient ouvertement sceptiques et comparaient notre expédition à un voyage de tourisme. De plus, à la latitude et à la longitude du site du Caucase (41°26'30" E., 43°39'12" N.), la planète Jupiter n'était observable qu'en début de soirée ; il faut aussi savoir que l'altitude de 2 100 m correspond au point de rosée local en été et que le coucher de Soleil se conjugue alors à l'apparition d'une couche d'épais brouillard. En juillet, celui-ci se levait habituellement vers 22 h tandis que Jupiter se couchait vers minuit. Dans ces circonstances, nous étions nous-mêmes plus que pessimistes, mais nous nous consolions en considérant que la mission était un essai technologique destiné à

préparer de futures observations de Mars.

Description des observations

Le télescope de 6 m de diamètre supporté par une monture alt-azimutale et dispose de deux foyers Nasmyth pouvant accueillir des instruments horizontaux et plusieurs observateurs ; le foyer primaire peut aussi recevoir des instruments plus petits et un observateur. Cette disposition en fait un instrument idéal pour la spectroscopie. En outre, le montage azimutal est particulièrement bien adapté au suivi d'autres objets célestes que les étoiles. Cela demande des éphémérides précises et un système informatique de bonne qualité : lors de notre première visite au télescope en 1993, le suivi des planètes s'était

Tableau 1.
Propriétés du télescope de 6 m.

diamètre du miroir primaire	6 m
focale (primaire)	24 m
surface de collection	26 m ²
résolution angulaire	0,6"
masse du miroir	42 t
masse du télescope	850 t
hauteur du dôme	53 m
magnitude limite	26

révélé difficile. Heureusement, en 1994, ces critères étaient en place au télescope; en plus, une raquette de commande permet à l'observateur d'effectuer un pointage fin. Nous avons pu suivre ainsi les taches d'impact des noyaux de la comète sur la planète Jupiter. L'instrument infrarouge de l'I.A.S.B. avait été installé au télescope pour la première fois en février 1993, dans le but d'observer Mars; à cette occasion, non seulement l'alignement avec le télescope n'avait pu être réalisé, mais, de plus, le programme de suivi des sources planétaires avait manqué de précision et seule l'observation d'un accroissement de signal lors d'une tentative de pointage de la planète Vénus avait permis d'espérer le succès d'observations infrarouges au télescope. Au printemps de 1994, les observations avaient été reprises avec une nouvelle table optique développée à l'Observatoire de Paris-Meudon, munie d'une caméra de pointage. Cette mission avait permis d'identifier à coup sûr le signal de Jupiter et de déterminer que le télescope était utilisable dans l'infrarouge. Malheureusement, des défauts d'alignement et d'autres difficultés n'avaient pas permis l'exploitation de ce signal. Ensuite, un grand nombre de spectres solaires, obtenus sur une terrasse extérieure, avaient prouvé le bon fonctionnement de l'instrument. L'exploitation de ces spectres est encore en cours et conduira à établir un bilan complet de la composition

*Tableau 2.
Caractéristiques des observations*

Date	$t_{\text{intégré}}$	Latitude	SL	Temps après impact
16-7-94	15 min	44° N.		
	30 min	équateur		
17-7-94	35 min	44° N.		
22-7-94	30 min	44° S.	K	3 j 10 h
			W	0 j 12 h
27-7-94	15 min		K	8 j 9 h
	35 min	44° S.	W	5 j 11 h
	15 min			

atmosphérique en zone non polluée dans le Caucase.

À la même époque, la communauté scientifique, surtout aux États-Unis, mettait en place un système de communication permettant de diffuser les données de Shoemaker-Levy 9, le réseau *Internet* constituant la base de ce mode de contact. Il est encore actif maintenant et le restera en temps que mode de publication de l'avancement des travaux. Ces réseaux nous sont accessibles gratuitement en Belgique à l'initiative des Services fédéraux des affaires scientifiques et culturelles. Le nombre de messages échangés entre février et décembre 1994 s'élève à plusieurs milliers, avec un pic d'une centaine par jour durant la période d'observation. Nous y avons eu accès durant nos opérations et nous avons pu lancer deux messages immédiatement après nos observations. Nous remercions ici

les autorités russes d'en avoir assuré le transfert prioritaire à travers un réseau informatique en cours de développement. Le tableau 2 donne la nomenclature des observations.

Les résultats

Les observations portent sur la superposition des traces des impacts W et K, l'impact W n'a été observé qu'à Seljensjuk lors de sa première rotation, une étude *a posteriori* des images du télescope spatial *Hubble* devait cependant permettre de reconstituer la phase complète de formation du nuage d'impact, depuis la « boule de feu » jusqu'au nuage de poussière (figure 2).

Les mesures effectuées les 22 et 27 juillet devaient montrer une augmentation du signal infrarouge tout à fait significative (un petit facteur 2) dans la zone des impacts K et W. Le signal était malheureusement trop faible pour interpréter les observations sur place, mais l'option était prise d'observer le plus longtemps possible en présence du signal. La cause de cet accroissement de signal n'était pas claire non plus car notre champ de vue était plus large que la région des impacts. Après traitement, il est apparu que la résolution spectrale maximale était d'environ 7 cm^{-1} (le cm^{-1} est une unité de nombre d'ondes; cette grandeur d'usage fréquent en spectroscopie infrarouge est l'inverse de la longueur d'onde et est proportionnelle à la fréquence du rayonnement; nos observations sont réalisées à environ $2\,700 \text{ cm}^{-1}$). Cette résolution spectrale est cent fois

Figure 1. Image montrant les impacts successifs sur la planète (document Space Telescope Institute). Ils apparaissent noirs en ultraviolet, car les particules des nuages absorbent ce rayonnement et ont un albédo ultra-violet inférieur au gaz de la planète qui le diffuse. En infrarouge, par contre, les impacts sont brillants car l'albédo infrarouge de la couche de poussière est très élevé, de plus, les gaz de Jupiter absorbent fortement dans l'infrarouge.

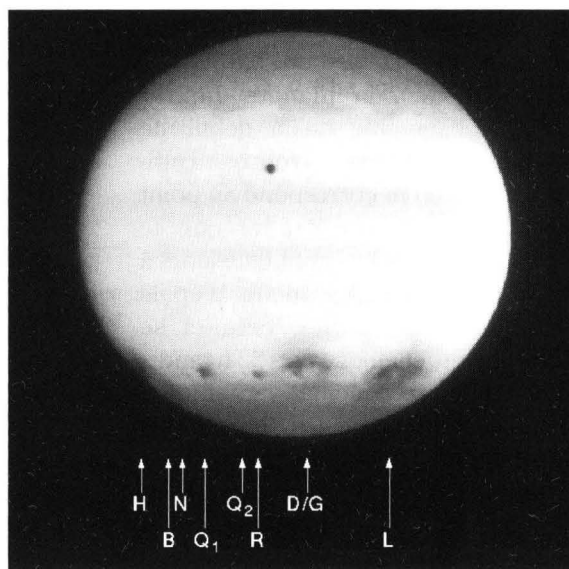
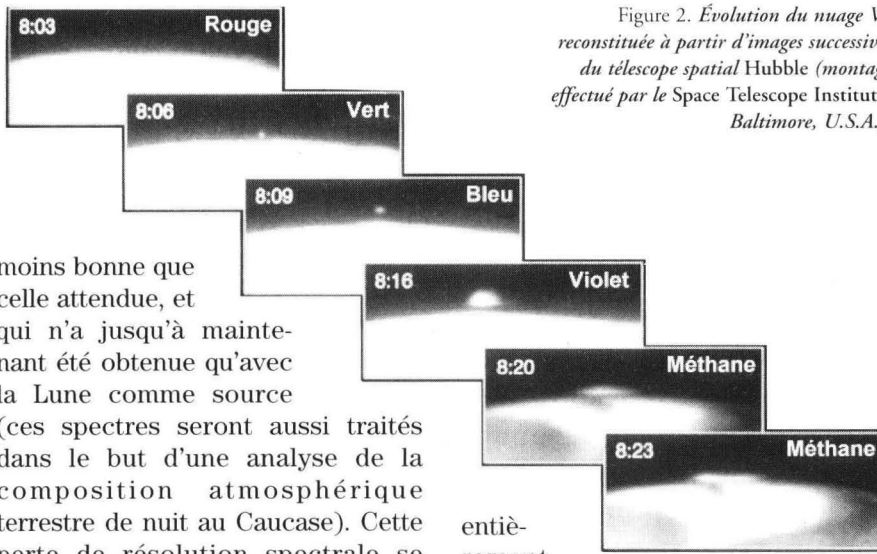


Figure 2. Évolution du nuage W, reconstituée à partir d'images successives du télescope spatial Hubble (montage effectué par le Space Telescope Institute, Baltimore, U.S.A.).



moins bonne que celle attendue, et qui n'a jusqu'à maintenant été obtenue qu'avec la Lune comme source

(ces spectres seront aussi traités dans le but d'une analyse de la composition atmosphérique terrestre de nuit au Caucase). Cette perte de résolution spectrale se produit lorsque le rapport signal / bruit est trop faible. Deux causes peuvent être avancées : d'abord le temps d'intégration (environ une heure) est trop court, ensuite le télescope est peut-être peu lumineux dans l'infrarouge. Cette dernière raison est actuellement à l'étude et pourrait conduire à l'arrêt de nos observations au télescope de Seljensjuk si nous ne trouvons pas une solution. La plupart des objectifs de l'astronomie planétaire infrarouge demandent en effet une haute résolution spectrale, permettant d'identifier des raies individuelles de composés gazeux. La mesure de raies d'émission fines dans l'atmosphère supérieure de Jupiter était en fait notre objectif d'origine ; il n'a pas été atteint. Par contre, le résultat à basse résolution est suffisant pour situer l'altitude de la couche réfléchissante dans l'atmosphère de méthane jovien. L'analyse des spectres obtenus (figure 3) a fait l'objet d'une publication scientifique détaillée (Rosenqvist *et al.*, 1995).

entièrement disparu. Un autre point important est que l'arrivée d'une vingtaine de morceaux de comète d'un diamètre de moins de dix kilomètres a suffi à créer des nuages d'aérosols de la taille de la Terre, alors que l'impact s'est fait sur un milieu gazeux. On conçoit alors plus aisément les dégâts qu'un seul fragment pourrait occasionner lors d'un impact terrestre, spécialement sur une mer peu profonde comme ce fut le cas pour le cratère de Chicxulub (figure 4) en bordure du golfe du Mexique, il y a 65 millions d'années. Les recherches concernant les restes du corps céleste n'ont pas abouti. Cependant il y a accord pour lui donner un diamètre compris entre 10 et 20 km. Le nuage créé par l'impact pourrait avoir été suffisant pour modifier l'atmosphère terrestre dans son entier, tant par sa composition chimique que par ses propriétés

radiatives. La coïncidence de l'événement de Chicxulub avec la disparition des dinosaures est maintenant acceptée. Par contre, dans le cas plus récent de l'impact dans la Tunguska (Sibérie) en 1908, aucun cratère n'a été formé, mais tous les arbres ont été couchés sur un rayon de 50 km ; on ne garde pas trace non plus d'effets atmosphériques. Le bolide est supposé s'être désintégré avant de toucher le sol et avoir été de très petite taille (quelques dizaines de mètres). À titre de comparaison, la zone de dégâts de 50 km est un peu plus grande que la surface comprise à l'intérieur du ring de Bruxelles.

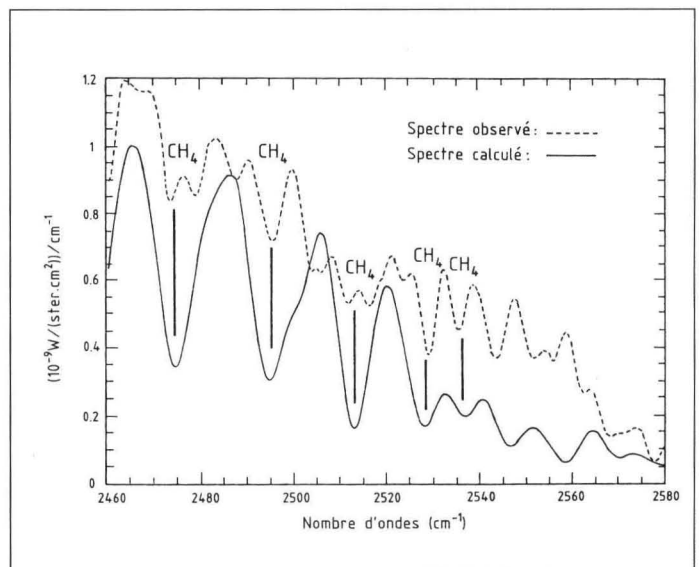
Conclusions

Les mesures effectuées montrent qu'un corps céleste de taille kilométrique est susceptible de provoquer des perturbations d'environ 1 000 fois sa taille sur une planète géante. Elles ont relancé l'intérêt pour les astéroïdes. Elles ont aussi montré le peu de souplesse des moyens actuels d'exploration spatiale : la collision était certaine depuis août 1993 et il n'a pas été possible de monter une mission spécialisée pour l'observation en juillet 1994. La flexibilité d'opération s'est trouvée du côté du télescope spatial *Hubble* et des télescopes au sol. Finalement, la plupart des modélisations survenues avant la collision ont sous-estimé l'effet de l'impact. Ceci montre la nécessité de

Après la collision, réflexions sur les conséquences d'un impact

De la même manière que la visibilité des impacts n'avait pas été prévue, leur subsistance pendant plusieurs mois devait surprendre et amener les spécialistes à se réinterroger sur la tache rouge et sa stabilité. Cependant, après un an les taches s'étaient diluées et ont maintenant

Figure 3. Comparaison entre le spectre calculé en l'absence d'impact et le spectre observé dans la zone des impacts W et K. La différence de structure correspond à une couche de poussières réfléchissantes située plus haut dans l'atmosphère de Jupiter et donc correspondant à une quantité moindre de méthane sur le trajet optique (Rosenqvist *et al.*, 1995).



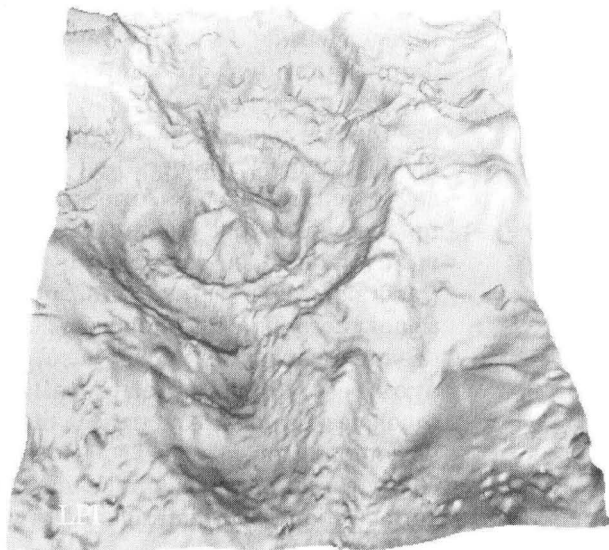


Figure 4. Reconstitution du cratère de Chicxulub au moyen de mesures de la perturbation du champ magnétique des minéraux présents au site de l'impact (NASA, Lunar and Planetary Institute, Houston). Le diamètre du cratère est d'environ 180 km. Cette formation géologique se trouve sous une épaisse couche de sédiments et les recherches effectuées n'ont pas encore permis de retrouver des éléments de l'impacteur.

KORABLEV O. et RODIN A., « Shoemaker-Levy 9, la collision avec Jupiter et son observation », *Ciel et Terre*, 110, 63-65, 1994.

ROSENQVIST J., BIRAUD Y.G., CUISENIER M., MARTEN A., HIDAYAT T., CHOUNTONOV G., MOREAU D., MULLER C., MASLOV I., ACKERMAN M., BALEGA Y. et KORABLEV O., « Four micron infrared observations of the comet SL9 collision with Jupiter at the Zelensjuk Observatory : Spectral evidence for a stratospheric haze and determination of its physical properties », *Geophys. Res. Letters*, 22, 1585-1588, 1995. ■

progrès sur la connaissance des comètes et astéroïdes et de leurs possibilités de collision.

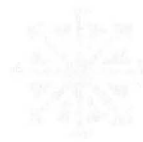
Meudon) prématurément décédé en 1995.

Addendum

Cet article est dédié à la mémoire de I. Rosenqvist (Observatoire de Paris-

Références

MULLER C., MOREAU D., LIPPENS C., MARTEN A., BIRAUD Y., CUISENIER M., HAMMAL K., CHUNTONOV G., BALEGA Y.,



Documentation disponible à l'Observatoire royal de Belgique

- ❑ *Annuaire de l'Observatoire royal de Belgique 1996*
bilingue français-néerlandais, de format 12 cm x 17,5 cm, 243 pages, 1995 500 BEF
- ❑ *Livre d'hommage au Roi*
édité par les Institutions scientifiques nationales, 335 pages, cartonné, richement illustré 1500 BEF
- ❑ Tiré à part du même livre contenant l'introduction et la présentation des trois Institutions du plateau d'Uccle
(Observatoire royal, Institut royal météorologique, Institut d'aéronomie spatiale) 350 BEF
- ❑ Tiré à part du même livre contenant seulement l'introduction et la présentation de l'Observatoire royal 200 BEF
- ❑ *Charles Fievez, ingénieur, militaire, chimiste, spectroscopiste, astronome, homme politique,...*
La brochure biographique rédigée en trois langues (français, néerlandais, anglais), de format A4, agrémentée d'illustrations anciennes, raconte la vie assez exceptionnelle de ce chercheur passionné, mort prématurément, qui consacra seulement une dizaine d'années de sa vie à l'astrophysique 150 BEF

Cette documentation peut être commandée à l'O.R.B., avenue Circulaire 3, 1180 Bruxelles en versant le montant indiqué (frais d'envoi compris) au compte 210-0253468-59 ou 000-0346177-81 de l'OBSERVATOIRE - Groupement ESPACE, avenue Circulaire 3, 1180 Bruxelles

La brochure consacrée à Charles Fievez peut également être retirée à l'Observatoire royal de Belgique (avenue Circulaire 3, 1180 Bruxelles) ou au planétarium du Heysel (avenue de Bouchout 10, 1020 Bruxelles) au prix de 100 BEF.