BR-145
Février 2000

L'héritage laissé par IUE pour l'Astronomie future

INES : Un système sophistique de distribution de spectres ultraviolet

Le rayonnement ultraviolet

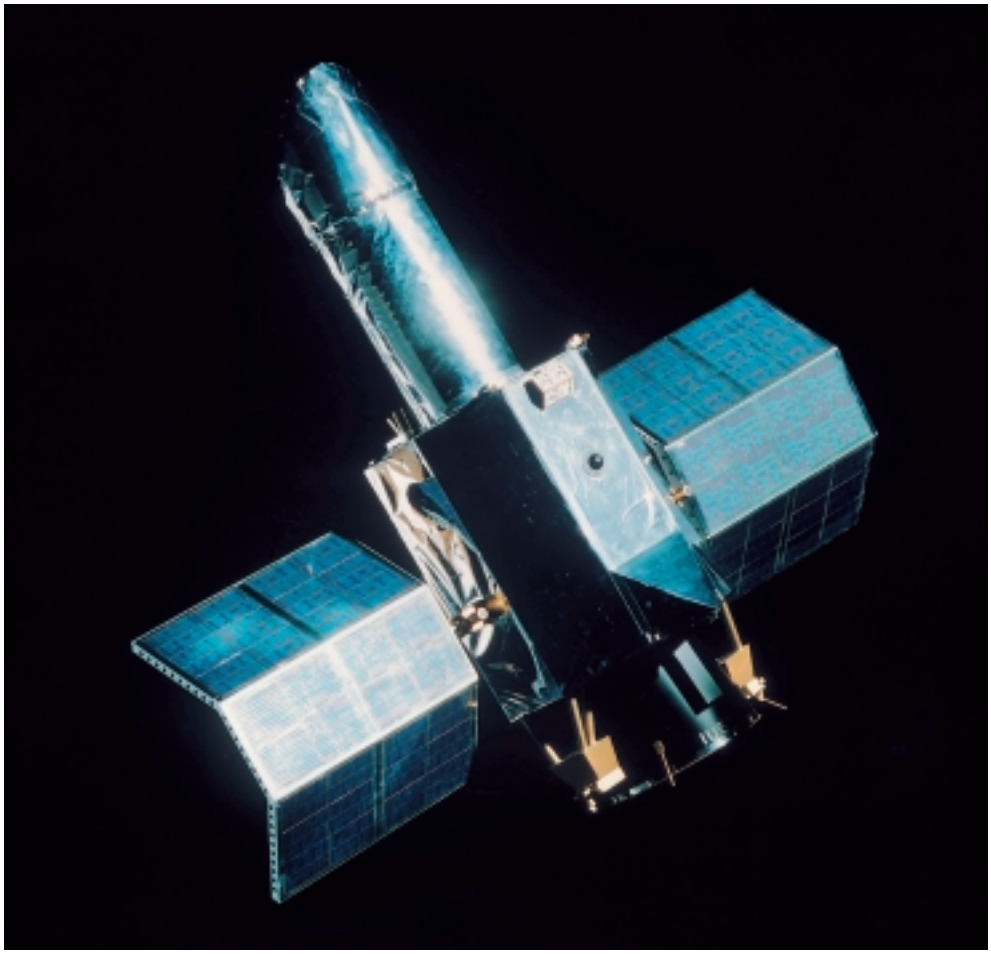
La lumière ou rayonnement ultraviolet (UV) ne peut être détectée par l'oeil humain et est extrêmement dangereuse pour la peau. Heureusement, la couche d'Ozone, située à une altitude de 15 a 40 km, nous protège du rayonnement ultraviolet. Pour les Astronomes, cette protection présente un inconvenient: la plupart du rayonnement UV ne pouvant atteindre la Terre, l'information contenue dans les spectres UV des objets astronomiques n'est pas reçue par les telescopes au sol. L'Univers a pu être étudié dans l'ultraviolet pour la première fois lorsque des télescopes UV furent mis en orbite au dessus de l'atmosphère terrestre.

La lumière émise dans differentes régions du spectre électromagnétique transporte des informations diverses sur un objet astronomique. Tous les astres émettent de la lumière à toutes les longueurs d'onde, mais leur émission lumineuse atteint un maximum à une longueur d'onde particulière qui depend de propriétés physiques comme la température ou le degré d'ionisation des éléments atomiques. Par exemple, la matière froide (de temperature comprise entre 100 et 700 degrés Celsius) émet éssentiellement dans l'infrarouge et peut donc être observée dans l'infrarouge. Les astres de températures comprises entre 4500 et 10000 degrés ont leur maximum d'émission dans le domaine optique c'est à dire la région du spectre électromagnétique accessible à l'oeil et donc peuvent être observés avec des télescopes au sol. Les températures correspondant au rayonnement UV sont comprises entre 10000 et 100000 degrés. Les sources observées dans l'ultraviolet sont donc des étoiles chaudes, des disques d'accrétion et des phénomènes de chocs violents. Les domaines spectraux des rayons X et Gamma sont produits par des objets encore plus énergétiques.

Grâce à l'étude du rayonnement ultraviolet, les Astronomes ont maintenant une perception différente et plus complète du système solaire et de l'espace entre les étoiles et les galaxies. Ils ont pu sonder le voisinage des trous noirs et comprendre beaucoup mieux les explosions des supernovae et des novae. Mais pour les Astronomes, la découverte de l'univers dans le domaine ultraviolet ne fait que commencer.

FAITS CONCERNANT LE PROJET IUE

Durée de vie en orbite:	18 années ininterrompues jusqu'à Septembre 1996
Orbite:	géosynchrone 32000X52000 km
Contrôle:	deux observatoires (VILSPA en Espagne, GSFC aux USA)
Télescope:	45 cm, télescope Cassegrain ouvert a f1/5 du type Ritchey-Chretien
Lancement:	Fusée Delta le 26 Janvier 1978 depuis Cap Canaveral (671 kg)
Instruments scientifiques:	2 spectrographes dans le domaine ultraviolet avec deux résolutions de 18 km\s et 800 km\s. Imageur permettant une stabilisation précise.
Données acquises:	110033 spectres de 11054 objets différents couvrant un intervalle de brillance de 10 milliards (comètes, planètes, étoiles, galaxies et quasars)
Caractéristiques de la mission:	Observations UV hors de l'atmosphère terrestre, Concept analogue aux observatoires terrestres, Réponse très rapide aux phénomènes nouveaux (1 heure), Données archivées très utilisées dès le début de la mission.
Utilisation des données:	5 spectres sont desarchivés chaque heure, 3585 publications dans des journaux à comité de lecture sont basées sur des données IUE, plus de 500 thèses de doctorat ont utilisé les données IUE.



Le satellite IUE en orbite montrant ses panneaux solaires hexagonaux fixes complètement déployés. La partie biaisée avant du telescope empêchait l'arrivée directe de la lumière provenant du Soleil ou de la Terre sur la partie contenant l'instrumentation scientifique.

Le satellite IUE

L'Explorateur International dans l'Ultraviolet (IUE en anglais) a été le premier observatoire spatial mis en orbite. Certes, des missions précédentes comme TD1 de l'ESA, Copernicus de la NASA et la mission ANS de la NASA et du SRON avaient clairement montré avant IUE l'importance de l'information contenue dans le rayonnement UV. Mais IUE fut le premier à être utilisé réelement comme un observatoire spatial au service de toute la communauté astronomique. IUE a réellement marqué le début de l'astronomie ultraviolette et a contribué à faire prendre conscience aux Astrophysiciens des grands avantages de la science spatiale.

IUE détient aussi le record de longévité pour un observatoire spatial. Ce projet des trois agences ESA/NASA/SERC a fonctionné jusqu'en Septembre 1996 c'est à dire treize années de plus qu'originellement prévu. Une équipe de 50 astronomes et ingénieurs a assuré le fonctionnement d'IUE depuis la station de poursuite de satellite de Villafranca de l'ESA (près de Madrid en Espagne) et depuis le centre Goddard de vols spatiaux de la NASA dans le Maryland aux Etats Unis. Plus de 2000 chercheurs ont observé avec IUE en temps réel c'est à dire avec la possibilité de réagir rapidement à un évenement astronomique et de changer la stratégie d'observations. IUE a pris plus de 110000 spectres de 11000 objets differents, chacun de ces spectres a deja été utilisé six fois par la communauté astronomique.

INES, l'héritage d'IUE pour l'astronomie du futur

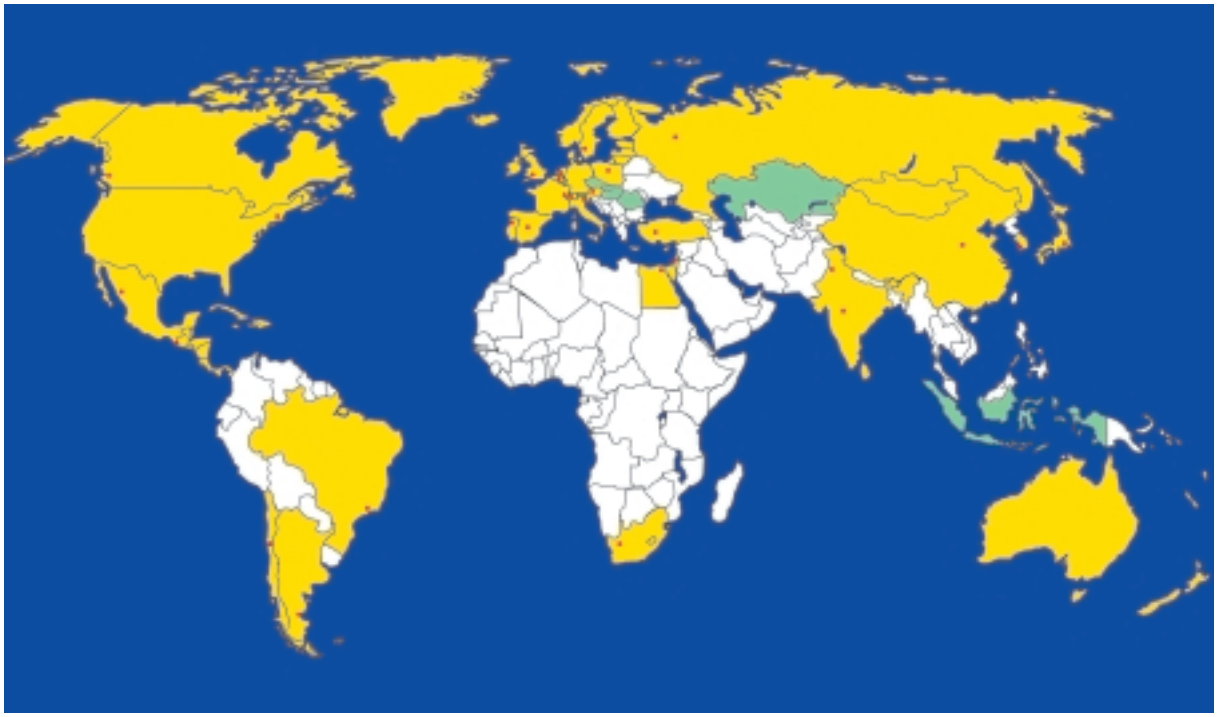
L'archive IUE fut la première archive de données astronomiques accessible en ligne bien avant que la Toile (le World Wide Web) n'existe. Elle contient actuellement plus de deux décades d'astronomie UV : plus de 110000 spectres concernant 11000 objets. IUE pouvait il avoir laissé un meilleur héritage? L'Agence Spatiale Europeenne (ESA) a créé INES, un système permettant de disséminer les données IUE sur toute la planète, afin que cette mine de découvertes soit pleinement exploitée dans le futur.

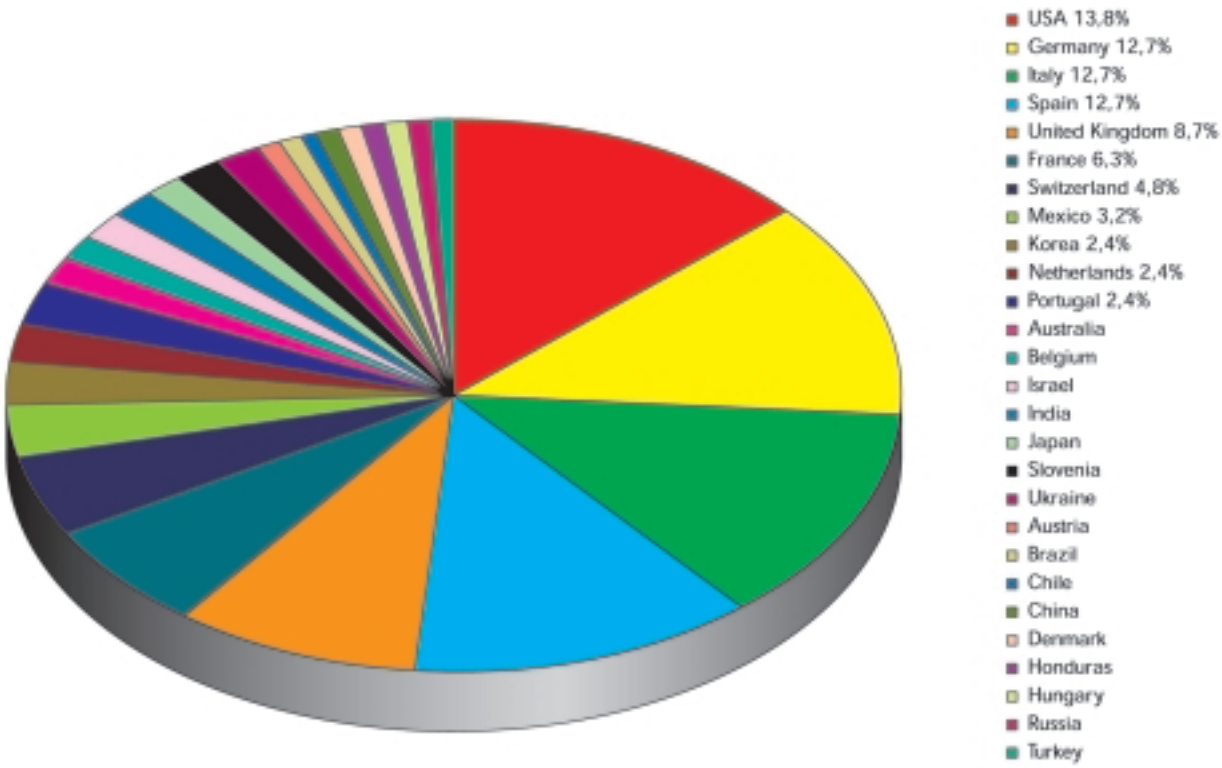
Le système INES (IUE Newly Extracted Spectra) est une archive astronomique complète et un système de distribution des données. La production de INES et sa mise à disponibilité de la communauté ont constitué l'activité finale de l'ESA dans le projet IUE.

Les archives sont essentielles pour tous les projets spatiaux. Elles contiennent des informations basées sur des observations qui dans la plupart des cas ne peuvent être répétées et constituent un excellent outil pour étudier les phénomènes variables. D'ailleurs, le rythme d'acquisition des données lors de la mission est trop rapide pour que la communauté puisse tout exploiter instantanément.

INES contient toutes les données obtenues lors de la mission de spectroscopie ultraviolette d'IUE qui a duré 18.7 ans. Les données sont dans un format permettant l'analyse scientifique directe sans nécessiter une expertise particulière. Avec la mise en ligne d'INES se termine un quart de siècle au cours duquel le projet IUE a joué un rôle important en Astrophysique.

Cette carte montre la large distribution de INES. Les pays en jaune sont les utlisateurs actifs de INES et l'institut Hôte National est indiqué par un point rouge. Les pays en vert n'ont pas d'Hôte national mais leurs chercheurs peuvent s'adresser directement au Centre Principal au LAEFF.





Histogramme: Distribution geographique des utilisateurs INES en 1999

INES est une archive unique qui servira de référence. Un effort particulier a été réalisé de facon à :

1) Assurer la facilité d'accès et d'utilisation des données. Le système de distribution a été conçu selon une configuration moderne, qui est compatible avec les outils disponibles dans la plupart des instituts de recherche, les universités et les écoles du monde entier.
2) limiter l'expertise necessaire pour utiliser éfficacement les données. L'utilisateur n'a pas besoin d'une connaissance spécialisée du projet.
3) organiser les données de façon à permettre l'implémentation de nouveautés dans INES sans diminuer son éfficacite initiale.
4) minimiser les côuts de maintenance de l'archive.

Tout au long de l'histoire du projet IUE, un effort a été fait pour distribuer les observations à la plus grande communauté possible. La conception d'INES a tiré profit de l'expertise acquise avec ULDA, la première archive de données astronomique en ligne, implémentée par le projet IUE dès 1985.

Le système de distribution est hiérarchisé en trois niveaux:

- un Centre Principal au LAEFF/INTA à la station de l'ESA à Villafranca près de Madrid ayant une archive miroir au CADC (Victoria, Canada)
- 20 Hôtes Nationaux actuellement
- et des utilisateurs en nombre illimité.

Le Centre Principal abrite la base complète et est le coeur du système de distribution. Il fournit accès aux informations non disponibles aux Hôtes Nationaux. Sa vocation est aussi de maintenir et développer le système en collaboration avec la communauté scientifique mondiale.

Les Hôtes Nationaux sont situés dans différents pays et assurent ainsi un accès facilité à l'archive. Les demandes de désarchivage sont traitées localement de façon automatique ou envoyées au Centre Principal.

Le processus de désarchivage est complètement automatisé et totalement transparent à l'utilisateur. Les données sont disponibles de facon ininterrompue grâce au grand nombre d'Hôtes Nationaux, au Centre Principal et à son site miroir au Canada. Les problèmes de connections locales peuvent ainsi être évités.

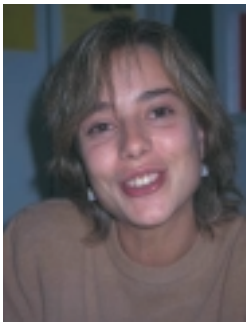
La science avec IUE:
des aurores joviennes aux trous noirs.

IUE commença puis termina sa contribution à l'astronomie 18.7 années plus tard en observant le même objet, l'étoile très brillante Capella, dans la constellation du Cocher (Auriga). Pendant toute cette période de temps, IUE a été l'oeil de la planète observant dans l'UV, un périscope ouvrant l'accès à un Univers inaccessible à tous ceux situés en dessous de l'atmosphère terrestre. Les Astronomes ne pouvaient pas rêver d'un meilleur instrument. IUE, dont l'espérance de vie était a priori limitée à 5 ans, a contribué de facon significative à de nombreux domaines de l'astronomie. Ses découvertes depuis le système solaire proche jusqu'aux lointains espaces extragalactiques ont servi de germes pour développer de nouveaux domaines de recherche et ont inspiré de nouvelles générations d'Astronomes.

Par exemple, IUE a permis la première étude systématique des modalités de variations de l'activité d'une comète durant son voyage dans le système solaire. IUE a aussi détecté l'existence d'aurores sur Jupiter et étudié leurs variations au cours du cycle solaire de 11 ans. A plus grande distance, IUE a permis la première détection directe d'un halo autour de notre galaxie c'est à dire d'une grande quantité de matière très chaude aux confins de notre Voie Lactée. Plus loin encore, IUE a mesuré la taille d'un trou noir au centre d'une galaxie active. Le seul quasar à grand décalage vers le rouge étudié dans l'UV fut découvert par IUE.

IUE, le premier observatoire spatial situé à plus de 30000 km de la Terre, pouvait être controlé aussi facilement qu'un télescope au sol. Son mode opérationnel et ses caractéristiques orbitales lui conféraient une utilisation très souple: il pouvait réagir rapidement à des évenements astronomiques mais aussi pouvait assurer de longues observations continues d'un objet. C'est ainsi que des supernovae purent être observées pour la première fois quelques heures après leur explosion. Des objets dont les propriétés varient sur des échelles de quelques jours comme les vents des étoiles chaudes sont maintenant bien mieux compris.

IUE fut le premier observatoire spatial à participer à des observations multi longueurs d'onde simultanément avec d'autres satellites astronomiques et des télescopes au sol. La longue durée de vie du satellite a permis surtout aux Astronomes d'assister à des évènements inattendus comme par exemple la métamorphose d'une très vieille étoile en une belle nébuleuse planétaire c'est à dire une étoile centrale entourée de gaz illuminé et de poussières. L'analyse de toutes les observations IUE de cette étoile a permis aux chercheurs de retracer les changements spectaculaires qu'elle a connus au cours de deux décennies.



Dr Eva Verdugo, INSA
Analyste, Archive ISO
Ma thèse a reposé sur l'utilisation et l'étude de données IUE ce qui m'a remarquablement bien preparée pour travailler avec les instruments du futur.

Dr Willem Wamsteker, ESA
IUE définit les critères d'évaluations des futurs projets. Je me considère privilegié par le rôle qui m'est incombé dans le projet. Cela e été une expérience très stimulante.

Prof. Mudumba Parthasarathy, IIA
Scientifique ISRO, Inde
L'accès aux données IUE via INES a permis de faire décoler l'astronomie ultraviolette pour les chercheurs travaillant en Inde. Aucun autre système ne permet une utilisation aussi facile des données pour faire de nouvelles découvertes astronomiques.

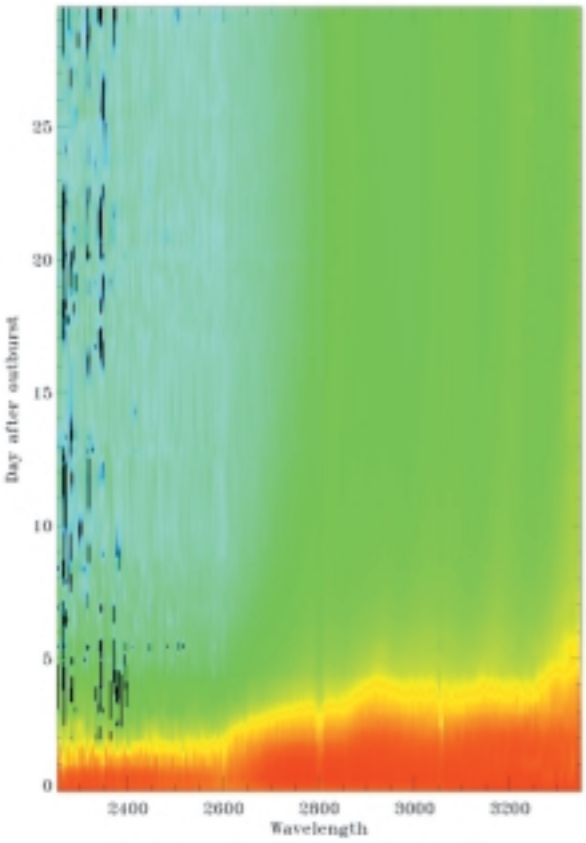
Prof. Klaas S. de Boer, Université de Bonn
Directeur d'observatoire, Allemagne
Ayant travaillé avec IUE et ses données depuis le début, je trouve remarquable que le projet ait gardé une structure dynamique. La livraison d' INES par l'ESA représente le couronnement magnifique d'un projet qui a duré un quart de siècle.

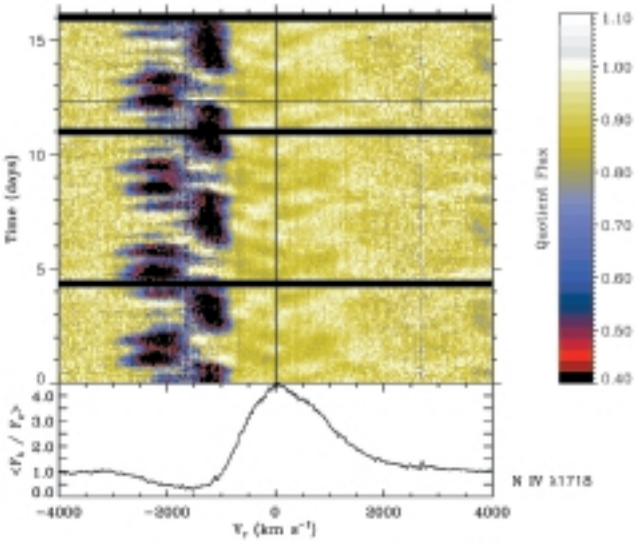
Decouverte du progeniteur d'une supernova

La supernova 1987 A (SN 1987 A) a pu être observée juste quelques heures après sa découverte grâce a la réaction rapide de IUE à cette Cible Prioritaire (Target of Opportunity). IUE a observé cet objet pendant 8 ans et a suivi son évolution dans l'ultraviolet produisant ainsi l'ensemble de données le plus complet. La figure 3 représente l'évolution temporelle du spectre UV de SN1987A lors du premier mois. Le flux a décru d'un facteur 1000 durant les trois premiers jours.

L'étude de SN 1987 A a aussi permis de mettre en évidence de la matière se déplaçant à des vitesses atteignant 40000 km/s. De plus IUE a permis d'identifier l'étoile qui a subit l'explosion : la supergéante bleue Sk-69 202. Cela a été la première identification du progéniteur d'une supernova qui a d'ailleurs posé un defi aux théories de l'évolution stellaire.

La structure circumstellaire annulaire entourant la supernova n'a pu être vue directement par imagerie qu'en 1991 avec HST, cependant elle avait été détectée avec IUE quelques mois après l'explosion. De même l'observation des échos UV produits lorsque la poussière interstellaire, située dans la ligne de visée entre l'observateur et SN 1987 A a été illuminée par l'explosion, a permis de reconstruire le spectre de la supernova au moment même de l'explosion, indiquant des températures extrêmement élevées.





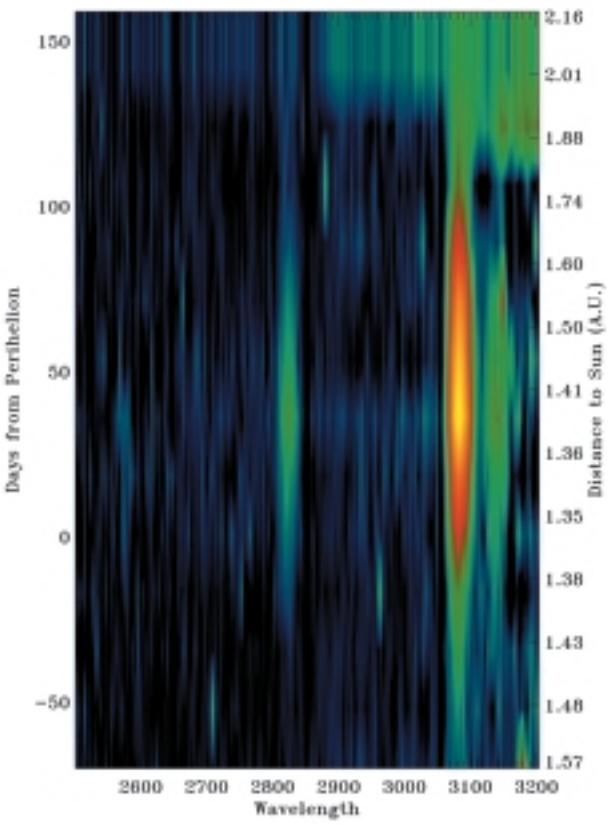
Vents stellaires chauds

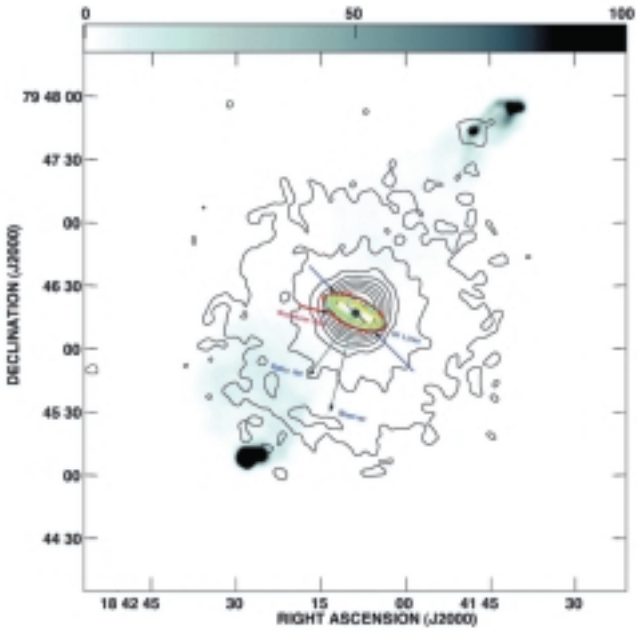
Une des caractéristiques des étoiles chaudes est qu'elles possèdent de puissants vents qui éjectent de grandes quantités de matière à des vitesses de plusieurs milliers de kilomètres par seconde. Cette perte de masse qui varie sur des échelles de temps de quelques heures à quelques jours a un impact important sur la vie d'une étoile. Des observations continues sur plusieurs jours sont éssentielles pour comprendre le mécanisme énergétique de ces vents. L'exemple de la figure 4 correspond à une étoile Wolf Rayet, une étoile massive chaude évoluée possèdant des vitesses et des taux de perte de masse encore plus élevés.

Le diagramme montre le caractère périodique de la variation de la vitesse du gaz déduite du déplacement des raies en absorption. Deux échelles de temps approximativement égales a 1 jour et 4 jours existent et les amplitudes de vitesses correspondantes sont respectivement 3000 km/s et 1500 km/s. L'existence de ces deux périodicités reflète des phénomènes d'interaction complexe ayant lieu dans les couches les plus extérieures de ces étoiles

Chasse à la comète

L'observation des comètes a été une tâche des plus délicates réalisées avec IUE car ces objet se déplaçant rapidement sont difficiles à suivre. Les comètes furent cependant observées avec IUE dès le début de la mission. IUE a ainsi permis de découvrir de nouvelles molécules non encore observées dans le noyau d'une comète et a surtout permis de suivre ces objets depuis les confins du Système Solaire jusqu'à leur distance de plus petite approche au Soleil. Ceci a permis aux Astronomes d'analyser pour la première fois les changements de production de vapeur d'eau lorsque la comète est graduellement de plus en plus chauffée par le rayonnement ultraviolet solaire. La figure montre comment l'émission due aux radicaux OH produits par la décomposition de l'eau a augmenté lorsque la comète d'Arrest s'est approchée du Soleil. L'analyse de cette émission a montré que la comète perdait à peu près 20 litres d'eau par seconde à une distance de 300 millions de km du Soleil, perte qui augmenta à 1200 litres/seconde à une distance de 200 millions de km. A sa distance la plus proche du Soleil, la comète perdait toutes les trente minutes une quantité d'eau égale à celle contenue dans un bassin olympique.

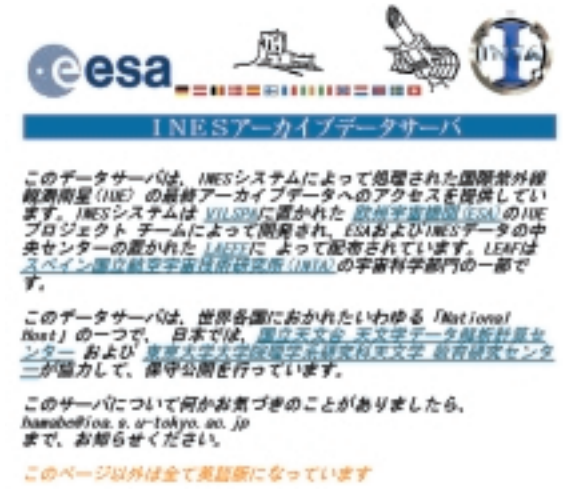


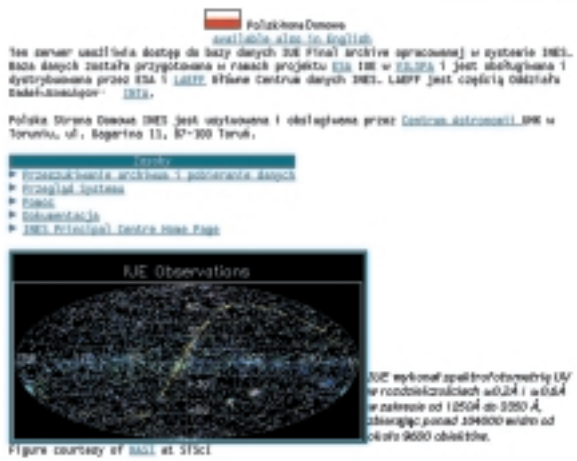


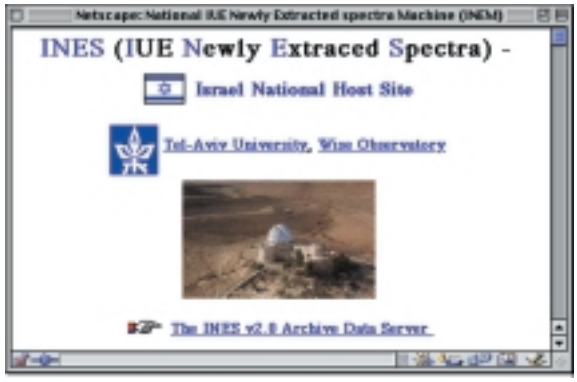
La nouriture d'un trou noir

Les theoriciens ont invoqué des trous noirs géants pour expliquer les éruptions géantes dans les galaxies. Les observations étaient en accord avec la présence d'un trou noir avalant du gaz provenant d'une région incandescente l'entourant (disque d'accrétion) mais elles n'en prouvaient pas l'existence. En 1997, ces conjectures ont été confirmées. Un disque d'accrétion d'extension un cinquieme d'une année lumière et 1500 fois plus grand que le trou noir central à été découvert dans la galaxie 3C390.3.

IUE a observé cette galaxie 39 fois en 14 ans. Elle fut aussi observée par 5 satellites observant dans les rayons X. Chaque fois que le trou noir consommait un morceau inhabituellement gros, la galaxie devenait très brillante et la lumière prenait plus d'un mois pour atteindre le bord du disque d'accrétion. Ce retard a permis d'estimer la largeur du disque d'accrétion. En étudiant le mouvement du gaz, les Astronomes ont pu prévoir le destin d'une malheureuse étoile capturée par le trou. Déchiré par le champ gravitationnel intense, le gaz a du tourbilloner deux fois autour du trou noir avant de disparaitre dans sa panse au bout d'un délai de 150 ans.







Translation: *The original text of this brochure is in English. The translations have kindly been provided by the National Host Managers.*

Summary information of INES National Host Institutes and URL addresses

Argentina: Observatorio Astronómico, Univ. Nacional de La Plata, Buenos Aires	*http://www.fcaglp.unlp.edu.ar/
Austria: Kuffner-Sternwarte, Vienna	http://www.kuffner.ac.at/ines/
Belgium: Royal Observatory of Belgium, Brussels	http://ines.oma.be/
Brazil : Instituto Astronomico e Geofisico, Sao	http://ines.iagusp.usp.br/ines/
Canada: CADC/DAO, Victoria B. C	http://204.174.103.197/
Chile : AURA/CTIO, La Serena	*http://www.ctio.noao.edu/
China,P.R.(National) : Centre for Astrophysics - USTC, Hefei	http://iue.cfa.ustc.edu.cn/ines/
Costa Rica: University of Costa Rica, San Jose	*http://www.efis.ucr.ac.cr/
Egypt: NRIAG - Helwan Observatory, Cairo	*http://www.frcu.eun.eg/
France : CDS - Observatoire de Strasbourg, Strasbourg	http://cdsweb.u-strasbg.fr/
India : Space Science Data Centre - ISRO HQ, Bangalore	*http://www.isro.org/
Indian Institute of Astrophysics - VBO, Alangayam	*http://www.iiap.ernet.in/
Israel : Wise Observatory, Tel Aviv University, Tel Aviv	http://wise-iue.tau.ac.il/
Italy : Osservatorio Astronomico di Trieste, Trieste	http://ines.oat.ts.astro.it/
Japan : National Astronomical Observatory, Tokyo	http://iue.mtk.nao.ac.jp/
Korea : Department of Astronomy and Space Science, Chungbuk	htttp://star91.chungbuk.ac.kr/ines/
Mexico :INAOE, Puebla	*http://www.inaoep.mx/
Netherlands : Sterrenkundig Instituut, Utrecht	*http://www.fys.ruu.nl/
Nordic countries : Uppsala Astronomical Observatory, Uppsala	*http://www.astro.uu.se/
Poland : Torun Center for Astronomy, Nicholas Copernicus University, Torun	http://ines.astri.uni.torun.pl/
Portugal : Centro de Astrofisica da Universidade do Porto, Porto	*http://www.astro.up.pt/
Russia : Institute of Astronomy of Russian Acad. Sci., Moscow	http://ulda.inasan.rssi.ru/
South Africa : South African Astronomical Observatory, Cape Town	*http://www.saao.ac.za/
Spain : LAEFF/VILSPA, Madrid. INES Principal Centre (also serving Germany)	http://ines.vilspa.esa.es/
Switzerland : Inst. d'Astronomie de l'Université de Lausanne, Chavannes-des-bois	*http://obswww.unige.ch/
Taiwan : Inst. of Physics and Astronomy, Chung-Li	*http://www.phy.ncu.edu.tw/
Turkey : Physics Department - METU, Ankara	*http://www.physics.metu.edu.tr/
United Kingdom : Rutherford Appleton Laboratory, Chilton	http://iuepc.bnsc.rl.ac.uk/ines/
USA : STScI, Baltimore	http://ines.stsci.edu/ines/

Notes: http: INES NH Node Link (installation completed and National Host fully operational)
*http: INES NH Institute Link (not yet operational)

ESA BR-145
ISBN 92-9092-602-3

European Space Agency
Agence spatiale européenne

Contact: ESA Publications Division
c/o ESTEC, PO Box 299, 2200 AG Noordwijk, The Netherlands
Tel (31) 71 565 3400 - Fax (31) 71 565 5433