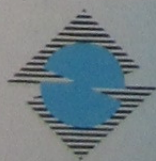


ASTROPHYSIQUE : APPROFONDISSEMENT À PROPOS DE L'ÂGE DE L'UNIVERS

Documents photographiques



Lucette Bottinelli
Michèle Gerbaldi
Lucienne Gouguenheim



UNIVERSITÉ DE
PARIS-SUD XI



Centre National d'Enseignement à Distance - Institut de Vanves

M 9807 PI

222

2 - 28 Dec 2001

SOMMAIRE

ASTROPHYSIQUE : APPROFONDISSEMENT

* * * *

A PROPOS DE L'AGE DE L'UNIVERS

DOCUMENTS PHOTOGRAPHIQUES

L. BOTTINELLI

Université Paris-Sud-XI
Observatoire de Meudon

M. GERBALDI

Université Paris-Sud-XI
Institut d'Astrophysique de Paris

L. GOUGUENHEIM

Université Paris-Sud-XI
Observatoire de Meudon

M9807

SOMMAIRE

REGIONS DE FORMATION D'ETOILES

PHOTOGRAPHIE N°1 : NGC 3603 : Associations d'étoiles jeunes	5
PHOTOGRAPHIES N°2 à 4 : Nébuleuses obscures	6

NEBULEUSES PLANETAIRES

PHOTOGRAPHIE N°5: La Raie (Hen 1357)	8
PHOTOGRAPHIE N°6 : Le Papillon	9
PHOTOGRAPHIE N°7 : Le Sablier	9
PHOTOGRAPHIE N°8 : L'Œil de Chat	9
PHOTOGRAPHIE N°9 : NGC 3132	10
PHOTOGRAPHIES N°10 à 12 : L'Hélice (NGC 7293)	10
PHOTOGRAPHIE N°13 : NGC 7027	11

NAINES BLANCHES

PHOTOGRAPHIES N°14 et 15 : Naines blanches de l'amas globulaire NGC 6397	12
PHOTOGRAPHIE N°16 : Naines blanches dans l'amas globulaire M4	13

AMAS GLOBULAIRE

PHOTOGRAPHIE N°17 : Amas globulaire dans la galaxie Andromède (M31)	13
---	----

SUPERNOVAE

PHOTOGRAPHIE N°18 : Supernova 1987A dans le Grand Nuage de Magellan	14
PHOTOGRAPHIE N°19 : Supernova dans la galaxie spirale NGC 4526	14
PHOTOGRAPHIE N°20 : Supernova dans des galaxies lointaines	15

GALAXIES

PHOTOGRAPHIES N°21 et N°22 : Galaxie NGC 4603	16
PHOTOGRAPHIE N°23 : Céphéides dans la galaxie NGC 4603	16
PHOTOGRAPHIE N°24 : Silhouettes de galaxies	17
PHOTOGRAPHIE N°25 : Amas de galaxies très lointains	17

REGIONS DE FORMATION D'ETOILES

PHOTOGRAPHIE N°1

NGC 3603 : Associations d'étoiles jeunes

Cette photographie montre une région (NGC 3603) où des étoiles massives viennent de se former. Il s'agit de l'amas d'étoiles situé au centre du cliché. Cette association, contient plus d'une cinquantaine d'étoiles de type O, totalisant une masse supérieure à 2 000 fois celle du Soleil. NGC 3603 est situé à environ 6 500 parsecs (20 000 al) et il est observé dans la direction de la Constellation de la Carène.

Cette photographie résulte du compositage de 3 clichés pris à des longueurs d'onde dans le proche infrarouge : 1,24 μm , 1,65 μm et 2,17 μm . Ces domaines spectraux ont été choisis, car à ces longueurs d'onde, le rayonnement est beaucoup moins affecté par l'absorption interstellaire que dans le visible.

Ces clichés ont été obtenus avec l'un des quatre télescopes de 8,2 mètres de diamètre du VLT (Very Large Telescope) de l'Observatoire Européen Austral, situé au Paranal (Chili).

Lors du compositage, un codage de couleurs a été adopté : bleu pour le domaine spectral à 1,24 μm , vert pour celui à 1,65 μm et rouge pour 2,17 μm . Il s'agit donc d'une photographie en "fausses couleurs".

Le champ couvert par cette photographie est de 3,4 x 3,4 minutes de degré ce qui, à la distance de NGC 3603 représente environ 20 x 20 années de lumière ; l'amas d'étoiles au centre de la photographie a un diamètre de seulement 2,5 al. L'âge de cet amas, riche en étoiles massives encore dans la phase de proto-étoiles, a été estimé être inférieur à un million d'années, entre 0,3 et 10⁶ ans. C'est l'une des plus récentes formations d'étoiles dans la Galaxie.

Afin de mieux comprendre les mécanismes de formation d'étoiles, des étoiles ayant des masses inférieures à celle du Soleil ont été recherchées dans NGC 3603. L'observation d'étoiles peu massives dans un amas, est difficile car peu brillantes et les images des étoiles massives, très brillantes, saturent le détecteur. Néanmoins, des étoiles ayant des masses de l'ordre de un dixième de celle du Soleil furent détectées dans cet amas. Ces observations ont permis de montrer que des étoiles peu massives peuvent se former en même temps que les plus massives, ce qui permet de rediscuter les scénarios théoriques de formation stellaire qui excluaient la formation d'étoiles de masse subsolaire simultanément à celles de type O.

On notera aussi l'étoile la plus brillante du champ, située vers le haut de la photographie : c'est une étoile super géante rouge, IRS4.

On remarque en bas de la photographie, deux larges nébulosités de couleur rosée. Il s'agit de nuages d'hydrogène ionisé où le rayonnement émis dans l'infrarouge se produit essentiellement à la longueur d'onde de 2,17 μm qui correspond à une raie de l'hydrogène. La couleur rosée de la photographie, résulte du codage de couleurs. Il s'agit de régions où d'autres étoiles sont en train de se former ; étoiles inobservables à cause de la forte absorption du gaz et des poussières de la

nébulosité qui les entoure ; néanmoins c'est leur rayonnement qui excite le gaz de la nébulosité, en particulier l'hydrogène, produisant par mécanisme de désexcitation ultérieure, une émission de rayonnement par la nébuleuse.

Crédit photo : Observatoire Européen Austral

PHOTOGRAPHIES N°2 à 4

Nébuleuses obscures

La distribution des étoiles dans la Voie lactée n'est pas uniforme : on le constate déjà à l'œil nu mais encore plus aisément avec une paire de jumelles. Dans certaines régions, il semble ne pas y avoir d'étoiles : de telles zones obscures furent considérées comme étant des "trous dans le ciel" par William Herschel au 18^e siècle.

Dès le début de l'utilisation scientifique des plaques photographiques, l'astronome Edward E. Barnard (1857-1923) entreprit de photographier systématiquement la Voie Lactée avec la lunette de l'Observatoire de Lick (USA). Il découvrit de nombreuses nébuleuses obscures dont il publia la liste en 1919.

La photographie N°2 montre l'une d'entre elles : Barnard 68 (en abrégé B68).

Ces nébuleuses obscures furent ensuite l'objet d'études systématiques, en particulier par Bart J. Bok dès 1935, d'où le nom général donné ultérieurement à de tels nuages obscurs : "les globules de Bok". Ces globules sont en fait des nuages de gaz - essentiellement moléculaire - et de poussières, et c'est un lieu où peuvent se former les étoiles, d'où l'importance de leur étude.

La photographie N°2 a été obtenue en combinant trois clichés pris au travers des filtres B, V et I dont les longueurs d'onde sont respectivement 440, 550 et 900 nm. Le télescope utilisé est l'un des quatre télescopes de 8,2 mètres de diamètre, situé au Paranal (Chili), et constituant le VLT (Very Large Telescope) de l'Observatoire Européen Austral. Ces trois clichés sont ensuite combinés pour former une image unique, en respectant les intensités relatives de chaque image. Le récepteur utilisé est un "système à transfert de charges" (CCD).

La dimension du cliché est de 6,8 x 6,8 minutes de degré (') ; le globule a une extension d'environ quatre minutes de degré ('). Ce nuage est situé à une distance de 165 parsecs, environ, dans la direction de la constellation d'Ophiuchus. Etant donné le diamètre angulaire de ce globule et sa distance, sa dimension linéaire est de 0,2 parsec.

On remarque la couleur de certaines étoiles sur ce cliché. L'étoile la plus brillante présente un halo rouge alors que la partie centrale est blanche, car surexposée. Ce halo rouge résulte de phénomènes de diffusion et la coloration rougeâtre indique que l'étoile émet plus de rayonnement dans le filtre I que dans les filtres B ou V. Il s'agit effectivement d'une étoile de type spectral K0 dont la magnitude apparente visuelle est 10,2. On note que les quelques étoiles visibles sur le pourtour de ce nuage, mais légèrement vers l'intérieur, présentent toutes une coloration rougeâtre. Il s'agit d'étoiles en arrière-plan du nuage et vues au travers de celui-ci. Les poussières, présentes dans ce nuage, absorbent le rayonnement, tout comme dans le milieu interstellaire plus diffus, produisant

un rougissement des objets vus au travers de ce nuage. Les étoiles sont absentes des régions centrales car l'absorption y est plus grande. On sait que l'absorption par les poussières est beaucoup plus faible dans l'infrarouge que dans le visible et qu'elle est de plus en plus faible lorsque la longueur d'onde augmente. Ainsi des clichés furent pris en utilisant trois filtres J, H et K (J : $1,25 \mu\text{m}$; H : $1,65 \mu\text{m}$; K : $2,16 \mu\text{m}$), puis combinés pour former une seule image (**photographie N°3**). Le champ couvert par cette photo est légèrement différent de la précédente ; il est de $4,9 \times 4,9$ minutes de degré (''). Le codage de couleurs adopté pour combiner ces trois clichés est le suivant : bleu pour le cliché pris avec le filtre I ; vert pour le filtre H et rouge pour le K. La distribution de l'énergie rayonnée par les étoiles à ces longueurs d'onde et le codage de couleurs adopté pour chaque cliché, produit, en les combinant, une image de couleur blanche pour les étoiles du champ, sauf celles vues au travers de la nébulosité, qui sont toutes plus au moins rougeâtres-orangées.

Ces images ont été obtenues avec le télescope de 3,5 m de diamètre (NTT) situé à La Silla (Chili) à l'Observatoire Européen Austral. L'étude de l'absorption produite sur les étoiles en arrière-plan a permis d'estimer la répartition de la poussière dans le nuage. L'intensité de cette absorption A_v va de 4 magnitudes sur le bord du nuage jusqu'à plus de 35 dans les régions centrales. Si on appliquait une telle absorption au Soleil, sa magnitude apparente visuelle deviendrait égale à 9, c'est-à-dire qu'il ne serait pas visible à l'œil nu.

La masse de la poussière présente dans le nuage a été estimée à partir de l'absorption mesurée : elle serait égale à environ 0,03 fois la masse du Soleil. La masse de gaz présente dans ce globule est plus difficile à calculer, et s'appuie sur un modèle théorique qui donne un rapport de 100 entre la masse du gaz et celle des poussières. Ainsi la masse de ce nuage serait de l'ordre de 3 fois la masse du Soleil. Si ce nuage finissait par se contracter, il ne donnerait naissance qu'à un très petit nombre d'étoiles. Le gaz dans un tel nuage est froid (10 K) car il n'y a aucune source de rayonnement à l'intérieur (proto-étoile par exemple) et sa contraction gravitationnelle n'est pas encore amorcée. L'observation du rayonnement produit par ce gaz sous forme moléculaire, car froid, est très difficile.

La photographie N°4 est un montage des 6 clichés monochromatiques mentionnés précédemment. La longueur d'onde, en micromètre figure sur chaque cliché ; ils sont sous représentés en noir et blanc et ont la même dimension : $4,9 \times 4,9$ minutes de degré ('').

On remarquera comment la nébuleuse obscure semble diminuer de taille pour finalement s'estomper au fur et à mesure que la longueur d'onde augmente. Ceci est la conséquence directe de ce que la nébuleuse devient de plus en plus transparente au fur et à mesure que la longueur d'onde augmente.

On remarquera sur les clichés pris aux longueurs d'onde $0,44 \mu\text{m}$, $0,55 \mu\text{m}$ et $0,90 \mu\text{m}$ la variation de l'éclat des étoiles d'un cliché à l'autre : ceci est dû à la valeur de la température effective (ou de leur type spectral).

Crédit photo : Observatoire Européen Austral

NEBULEUSES PLANÉTAIRES

Des phases d'instabilité se développent (hélium flash) dans les étoiles de masse initiale inférieure à environ 9 masses solaires, et qui se trouvent dans la phase où l'hydrogène et l'hélium brûlent en couches autour du noyau.

C'est le rayonnement ultraviolet de l'étoile centrale - en phase de devenir une naine blanche - qui étant absorbé et réémis par le gaz de la nébuleuse, est à l'origine de sa luminosité.

La grande variété de formes et de rayonnement observés parmi les nébuleuses planétaires témoignent de la complexité et de l'évolution des mécanismes à l'origine de cette étape de la vie d'une étoile.

PHOTOGRAPHIE N°5

Nébuleuse Planétaire : La Raie (Hen 1357)

Observée dans la direction de la Constellation de l'Autel, constellation de l'hémisphère Sud, cette nébuleuse planétaire (Henize 1357) est située à une distance de 6 000 parsecs (environ 18 000 al).

Cette photographie est un compositage de trois clichés pris par le Télescope Spatial dans trois domaines spectraux du visible, sélectionnés par des filtres et dont les longueurs d'onde centrales sont : 487 nm, 502 nm et 658 nm. Lors du compositage, les couleurs associées respectivement à ces domaines spectraux sont : le bleu, le vert et le rouge.

L'étoile à l'origine de cette nébuleuse planétaire est un système binaire. L'étoile la plus brillante est visible au centre de la nébulosité, son compagnon plus faible, se trouve plus haut, à gauche (à 10 h si on se réfère au cadran d'une montre).

Le rayonnement de l'étoile centrale excite le gaz de la nébuleuse qui, par suite de mécanismes de désexcitation, rayonne dans des domaines spectraux bien précis. Ainsi l'observation à 487 nm correspond à l'émission de rayonnement par la raie de l'hydrogène H β , le cliché obtenu à 502 nm au rayonnement de l'oxygène. Les couleurs de la nébuleuse visualisent ces rayonnements.

Cette nébuleuse planétaire est l'une des plus récemment formées que l'on ait observée : son extension linéaire est environ 130 fois la dimension du système solaire.

L'étoile centrale, la plus brillante, émet un vent stellaire qui heurte violemment le pourtour du gaz précédemment éjecté. Il provoque un rayonnement de ce gaz, détecté sur le cliché à 658 nm : ce sont les couleurs rosées du pourtour.

Crédit photo : NASA et Matt Bobrowsky (Orbital Sciences Corporation)

PHOTOGRAPHIE N°6

Nébuleuse Planétaire : Le Papillon

Située dans la direction de la constellation d'Ophiuchus, à 2 100 al, cette nébuleuse planétaire vient tout juste de se former : elle se présente sous la forme d'un jet bipolaire, dont la dimension est d'environ 0,5 al, émis par l'étoile centrale dont la température est de 44 000 K, à une vitesse de 150 km/s. L'étoile centrale est double.

Crédit photo : Bruce Balick (University of Washington), Vincent Icke (Université de Leiden), Garrelt Mellema (Université de Stockholm) et NASA

PHOTOGRAPHIE N°7

Nébuleuse Planétaire : Le Sablier

Cette nébuleuse planétaire est située dans la constellation de la Mouche, à 8 000 années de lumière. L'étoile centrale n'étant pas extrêmement chaude, (45 000 K), on n'observe pas d'éléments de très grande ionisation. dans la nébuleuse. Cette photo du Télescope Spatial Hubble est un compositage de trois clichés : le rouge correspond à l'azote ionisé, le vert à l'hydrogène et le bleu à l'oxygène deux fois ionisé. Elle révèle une structure beaucoup plus complexe que ce qui était connu jusque là. On pense que sa forme est due à l'émission d'un vent stellaire rapide qui se propage dans un nuage en faible expansion et de densité plus grande à l'équateur qu'aux pôles de l'étoile. L'étoile qui a émis le gaz et qui est responsable de la lumière émise par la nébuleuse n'est pas au centre, ce qui conduit à penser qu'il s'agit d'un système binaire.

Crédit photo : Raghvendra Sahai et John Trauger (JPL), l'équipe scientifique de WPC2 et la NASA

PHOTOGRAPHIE N°8

Nébuleuse Planétaire : L'Œil de Chat

Connue sous le nom de NGC 6543, située à 3 000 al dans la constellation du Dragon, c'est la première nébuleuse planétaire dont on ait observé le spectre. C'est aussi la première nébuleuse planétaire dans laquelle William Herschel découvrit la présence d'une étoile centrale.

La structure complexe, de la nébuleuse, révélée par le Télescope Spatial Hubble s'explique par la présence d'une étoile double et par des éjections successives de gaz.

L'image est un compositage de trois clichés : le rouge correspond à la raie H α , le bleu à une raie de l'oxygène neutre à 630 nm et le vert à une raie de l'azote ionisé à 658,4 nm.

Crédit photo : J.P. Harrington, K.J. Borkowsky (Université du Maryland) et NASA

PHOTOGRAPHIE N°9

Nébuleuse Planétaire : NGC 3132

Située à 2 000 al, la nébuleuse planétaire NGC 3132 a un diamètre d'une demi-année lumière seulement. Cette nébuleuse se déplace à la vitesse de 14 kms⁻¹.

L'étoile à l'origine de cette nébuleuse planétaire est visible au centre de la nébulosité. Il s'agit d'une étoile binaire, on voit le compagnon, beaucoup plus faible, tout près de l'étoile la plus brillante. Une troisième étoile est présente sur cette photographie : elle se trouve vers le haut, à la limite de la nébulosité, mais elle n'est pas associée à NGC 3132 : elle se trouve seulement sur la ligne de visée. L'étoile la plus brillante, au centre de la nébulosité, a une température de 85 000 K et son intense rayonnement ultraviolet ionise le gaz de la nébulosité. Après ionisation, des mécanismes de recombinaison ions-électrons se produisent dans la nébuleuse, ainsi que des collisions électrons et ions, créant le rayonnement de la nébulosité. Les couleurs de cette photographie ont été codées de façon à ce que le bleu représente les régions les plus chaudes et le rouge, les régions les plus froides. On notera que le gaz le plus chaud est confiné dans les régions centrales.

Cette photographie, prise par le Télescope Spatial, met en évidence la présence de filaments et de poussières dans cette nébuleuse planétaire.

Crédit photo : Hubble Heritage Team (STSC/A URA/NASA)

PHOTOGRAPHIES N°10 à 12

Nébuleuse Planétaire : L'Hélice (NGC 7293)

Cette nébuleuse planétaire est la plus proche de la Terre. Située à 450 années de lumière, son diamètre angulaire est similaire à celui de la pleine Lune, ce qui correspond, à la distance de la nébuleuse, à environ 4 al.

Le Télescope Spatial a photographié une zone de la nébuleuse dont la position est représentée sur la photographie en noir et blanc. L'étoile centrale est actuellement une naine blanche dont la température de surface est de l'ordre de 110 000 K.

La **photographie 11** révèle des structures surprenantes qui semblent pointer vers l'étoile centrale ; la **photographie 12** en montre les détails. Ces structures sont des colonnes gazeuses s'étendant sur

des distances correspondant à plus de mille fois la distance Terre-Soleil. Ces structures sont interprétées comme résultant de la collision entre des éjections successives de gaz par l'étoile centrale.

Ces photographies sont un compositage de trois clichés pris dans des domaines spectraux différents, et auxquels furent associées des couleurs. Le rouge correspond à l'émission de rayonnement par une raie de l'azote à 658 nm, le vert à la raie de l'hydrogène H α à 656 nm et le bleu à une raie de l'oxygène à 500 nm .

Crédit photo : Las Campanas Observatory, J. Bedke (CSC/STSCI), Carnegie Institution of Washington, R. O'Dell, Kerry P. Handron (Rice University, Houston, Texas) et NASA.

PHOTOGRAPHIE N°13

Nébuleuse Planétaire : NGC 7027

Située dans la constellation du Cygne, à une distance d'environ 900 parsecs ; elle s'étend sur environ 0,06 parsec. L'étoile centrale a une température très élevée : plus de 150 000 K. Ces deux images prises par le Télescope Spatial correspondent à des domaines spectraux différents.

L'image de gauche a été prise dans l'infrarouge. La couleur rouge correspond à l'émission de l'hydrogène moléculaire, présent seulement dans les régions externes de la nébuleuse. Le rayonnement ultraviolet, intense, de l'étoile centrale, détruit l'hydrogène moléculaire qui se retrouve alors sous forme atomique, ionisé.

L'image de droite est un compositage de trois clichés pris à trois longueurs d'onde différentes : une dans le visible et deux dans l'infrarouge. Les couleurs codées mettent en évidence le rayonnement provenant des différentes régions de la nébuleuse ; chaque couleur représente un type de rayonnement.

Les régions blanchâtres autour de l'étoile centrale correspondent à l'émission du gaz chauffé par le rayonnement ultraviolet de l'étoile, les zones roses-rougeâtres correspondent à l'émission de l'hydrogène moléculaire, et le bleu représente l'émission des régions les plus externes de la nébuleuse - et les plus froides - mélange de gaz moléculaire et de poussières. Les poussières réfléchissent le rayonnement de l'étoile centrale. On remarque les structures filamenteuses présentes dans la nébuleuse.

Crédit photo : Télescope Spatial (NASA) William B. Latter (SIRTF Science Center/Caltech - USA)

NAINES BLANCHES

Les naines blanches, étape ultime de l'évolution des étoiles de masse initiale d'environ $9 M_{\odot}$, sont nombreuses dans les amas globulaires. Ce sont des objets parmi les plus vieux de la Galaxie. Leur détection permet, en comparant leur éclat apparent à la luminosité des naines blanches du voisinage solaire - servant de calibrateur - de calculer la distance de l'amas globulaire. L'étude des naines blanches dans les amas globulaires fournit aussi un support observationnel permettant de tester les modèles de structure interne qui prédisent leur taux de refroidissement. On peut espérer détecter dans un amas globulaire plusieurs milliers de naines blanches, à condition de disposer de télescopes performants, la magnitude absolue visuelle de ces étoiles étant de l'ordre de 9 à 13 magnitudes.

PHOTOGRAPHIES N°14 et 15

Naines blanches de l'amas globulaire NGC 6397

La **photographie 14** représente la partie centrale de l'amas globulaire NGC 6397.

La dimension de la photographie est de $1,3 \times 1,3$ minutes de degré ($'$). Cette photo a été prise par le Télescope Spatial avec une résolution de $0,1$ seconde de degré ($''$). Les croix qui apparaissent sur les étoiles les plus brillantes sont des artefacts instrumentaux : ils résultent de phénomènes de diffraction dus à la fixation du miroir secondaire.

Les étoiles entourées d'un carré rouge sont des naines blanches. Leur magnitude apparente visuelle est de l'ordre de 23 à 24.

Pour estimer la distance de l'amas, il faut comparer ses propriétés à celles du champ, servant de calibrateur. Ceci nécessite l'analyse spectrale de son rayonnement.

Crédit photo : Observatoire Européen Austral

La **photographie 15** représente les spectres de 4 naines blanches obtenus avec l'un des 4 télescopes de $8,2$ m de diamètre composant le VLT (Very Large Telescope) de l'Observatoire Européen Austral.

En abscisse figure la longueur d'onde ; l'intensité, en ordonnée est arbitraire et les spectres ont été décalés les uns par rapport aux autres afin de faciliter leur comparaison. En rouge est représenté le spectre d'une naine blanche "classique". Les raies en absorption sont dues à l'hydrogène. On remarque que les spectres des étoiles de l'amas globulaire sont similaires au spectre "type" malgré un signal bruité, ce qui confirme que ces 4 étoiles sont bien des naines blanches. L'étude plus détaillée, révèle des différences, d'une étoile à l'autre.

Crédit photo : Observatoire Européen Austral

PHOTOGRAPHIE N°16

Naines blanches dans l'amas globulaire M4

La photo de gauche du cliché 16 montre l'amas M4 photographié avec le télescope de 0,9 mètre. Cet amas est situé à environ 2 100 parsecs.

Le petit carré montre le champ photographié par le Télescope Spatial : ce cliché est représenté à droite de la photo 16 ; à la distance de M4, il correspond à une étendue de 0,19 parsec. Les naines blanches identifiées sont entourées par un cercle. Actuellement, plus de deux cent cinquante naines blanches ont été détectées dans cet amas globulaire dont les magnitudes apparentes visuelles sont comprises entre $V = 22$ et $V = 28$.

Crédit photo :

cliché de gauche : Kit Peak National Observatory (NOAO) (M. Bolte, University of California, Santa Cruz, USA)

cliché de droite : Télescope Spatial (NASA) (H. Richer, University of British Columbia, Vancouver, Canada)

AMAS GLOBULAIRE

PHOTOGRAPHIE N°17

Amas globulaire dans la galaxie Andromède (M31)

Le Télescope Spatial a photographié l'amas globulaire dans la galaxie Andromède (M31) située à environ 700 000 parsecs. L'amas globulaire est à 40 000 parsecs environ du noyau de la galaxie d'Andromède et rassemble, tout comme ceux de la Galaxie, plusieurs centaines de milliers d'étoiles. Ce cliché est un compositage d'images prises dans le visible et dans le proche infrarouge.

Actuellement on a observé un peu plus d'une douzaine d'amas globulaires dans cette galaxie. Les mesures photométriques ont permis de tracer la branche des géantes de leur diagramme HR.

La magnitude des étoiles de la branche des géantes s'étend de $V = 23$ à $V = 28$.

Crédit photo : Télescope Spatial (NASA)

M. Rich, K. Mighell and J. D. Neill (Columbia University), and W. Freedman (Carnegie Observatories), and NASA

SUPERNOVAE

PHOTOGRAPHIE N°18

Supernova 1987A dans le Grand Nuage de Magellan

Restes de la supernova de 1987, dans le Grand Nuage de Magellan, observés par la caméra à grand champ du Télescope Spatial Hubble.

Cette photo a été prise en 1997, 10 ans après l'observation de l'explosion de la supernova, le 23 février 1987. Les débris, éjectés à une vitesse de $3\,000\text{ km s}^{-1}$, occupent maintenant la partie centrale, dont le diamètre est d'environ un sixième d'année de lumière. Les observations à plus faible champ effectuées en février 1994, septembre 1994, mars 1995 et février 1996 montrent l'expansion de la nébuleuse.

L'anneau central et les deux grands anneaux extérieurs sont probablement du gaz éjecté par l'étoile 20 000 ans ou plus avant l'explosion, et rendus brillants par l'énergie lumineuse générée par cette explosion.

Crédit photo : Chun Shing Jason Pun (NASA/GSFC), Robert Kirshner (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics) et NASA.

PHOTOGRAPHIE N°19

Supernova dans la galaxie spirale NGC 4526

Supernova de type Ia dans la galaxie spirale NGC 4526.

NGC 4526 est située dans la direction de l'amas de galaxies de la Vierge, à une distance de 12 Mpc, qui la place en avant de l'amas. Sur cette photo obtenue avec le Télescope Spatial Hubble, on notera l'intense bande de poussières absorbantes. La supernova, très brillante en bas à gauche, est apparue en 1994.

Crédit photo : NASA

PHOTOGRAPHIE N°20

Supernova dans des galaxies lointaines

Trois supernovae de type Ia observées par le Télescope Spatial Hubble dans des galaxies lointaines. Ces supernovae se sont produites dans des galaxies lointaines de décalage spectral $z = \Delta\lambda/\lambda$ respectivement 0,50 ; 0,44 et 0,97 (de la gauche vers la droite) ; cette dernière est la supernova la plus lointaine que l'on connaisse.

Ces supernovae ont été découvertes en avril 1997 au cours d'une recherche systématique menée avec le télescope "Canada-France-Hawaï" de 3,60 m de diamètre. Elles ont été ensuite observées régulièrement en mai et juin 1997 avec le Télescope Spatial Hubble, ce qui a permis d'établir leurs courbes de lumière et d'en déduire leurs distances.

La photo montre, pour chaque galaxie, une image prise avec la caméra à grand champ (partie supérieure) et une photo à plus faible champ, dans laquelle la supernova est indiquée par une flèche.

Crédit photo : Peter Garnavich (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics), the High-z Supernova Search Team et NASA.

GALAXIES

PHOTOGRAPHIE N°21

Galaxie NGC 4603

NGC 4603 : une galaxie spirale dans l'amas de galaxies du Centaure, située à 108 millions d'années de lumière, photographiée avec la caméra à grand champ du Télescope Spatial Hubble. Les étoiles bleues, à courte durée de vie, donc récemment formées, sont localisées dans les bras spiraux.

Crédit photo : Jeffrey Newman (University of California at Berkeley) et NASA

PHOTOGRAPHIE N°22

Galaxie NGC 4603

NGC 4603 est la galaxie la plus lointaine dans laquelle des céphéides ont été observées. Cette photo, prise avec la caméra à grand champ du Télescope Spatial Hubble montre l'excellente résolution, qui permet d'identifier les étoiles les plus brillantes et les régions de poussières absorbantes.

Crédit photo : Jeffrey Newman (University of California at Berkeley) et NASA

PHOTOGRAPHIE N°23

Céphéides dans la galaxie NGC 4603

Détail d'une région de la galaxie NGC 4603, obtenu avec le Télescope Spatial Hubble : on a indiqué la localisation de 4 étoiles variables céphéides.

Crédit photo : Jeffrey Newman (University of California at Berkeley) et NASA

PHOTOGRAPHIE N°24

Silhouettes de galaxies

Par le plus grand des hasards, ces deux galaxies connues comme NGC 3314a et b, situées à 140 millions d'années de lumière, se trouvent situées exactement sur la même ligne de visée, dans la constellation de l'Hydre, dans l'hémisphère sud. Une galaxie spirale vue de face, NGC 3314a, se projette sur une autre galaxie, NGC 3314b, ce qui donne la possibilité d'étudier la matière absorbante de NGC 3314a par la façon dont elle obscurcit la lumière de la seconde galaxie.

Crédit photo : NASA et "The Hubble Heritage Team".

PHOTOGRAPHIE N°25

Amas de galaxies très lointains

Ces trois amas de galaxies ont été observés par le Télescope Spatial Hubble. Comme ils sont très éloignés, la lumière des galaxies est décalée vers le rouge, ce qui explique leur couleur.

L'amas à gauche est un ensemble de galaxies elliptiques et spirales, situé à une distance évaluée entre 4 et 6 milliards d'années de lumière. La galaxie très bleue et très brillante, en haut à gauche, est probablement beaucoup plus proche.

L'amas, en haut à droite, dans la direction de la constellation d'Andromède est situé à environ 4 milliards d'années de lumière. Celui, en bas à droite, est le plus éloigné, entre 7 et 10 milliards d'années de lumière ($z = \Delta\lambda/\lambda = 1$) ; il est situé dans la direction de la constellation du Taureau.

Crédit photo : K. Ratnatunga, R. Griffiths (Carnegie Mellon University) et NASA.

ILLUSTRATIONS

EN COULEURS



Starburst Region NGC 3603 (VLT ANTU + ISAAC)

ESO PR Photo 38a/99 (13 October 1999)

© European Southern Observatory





ESO PR Photo 20a/99 (30 April 1999)

The "Black Cloud" B68
(VLT ANTU + FORS1)

© European Southern Observatory



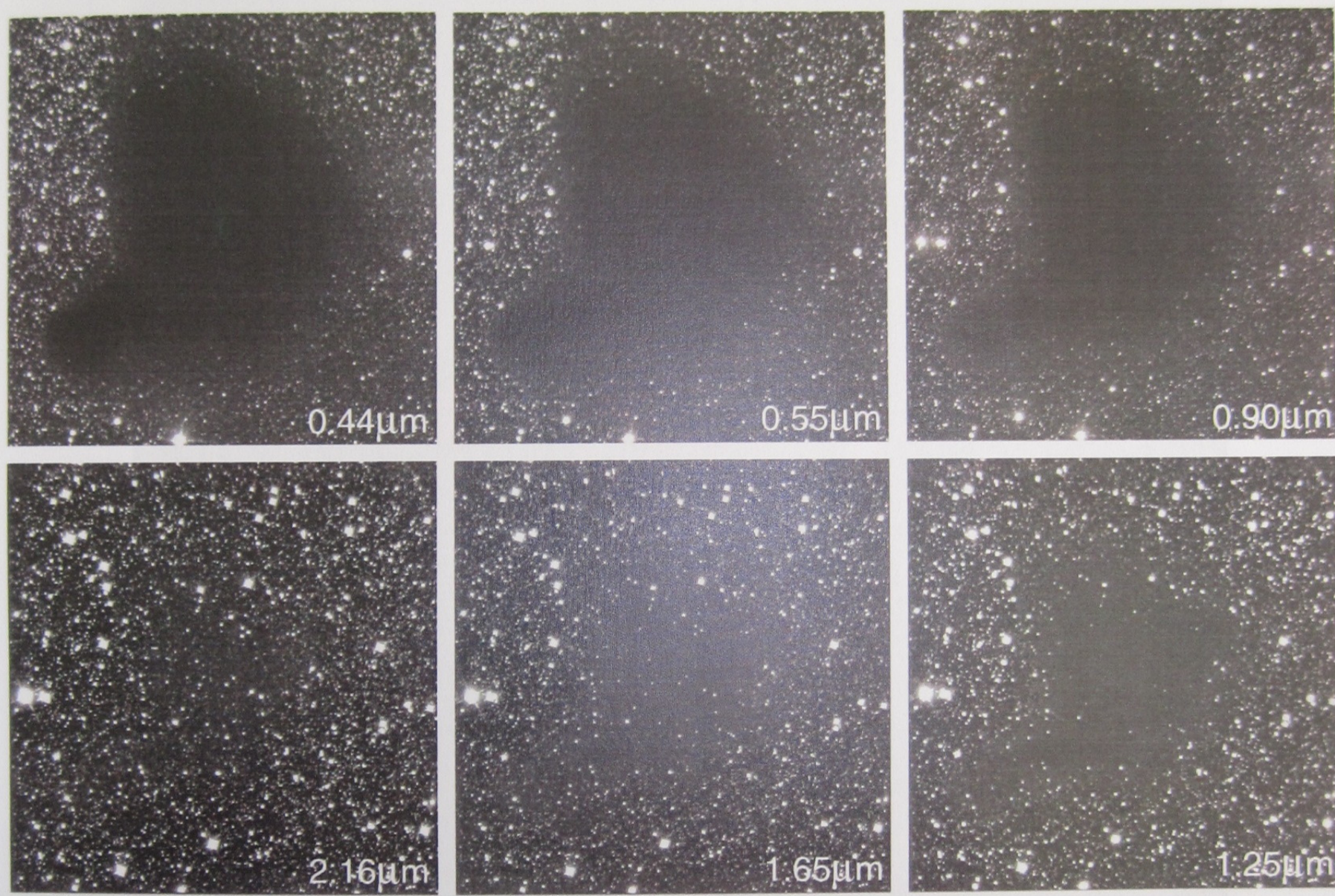


Looking Through the Dark Cloud B68 (NTT + SOFI)

ESO PR Photo 29a/99 (2 July 1999)

© European Southern Observatory



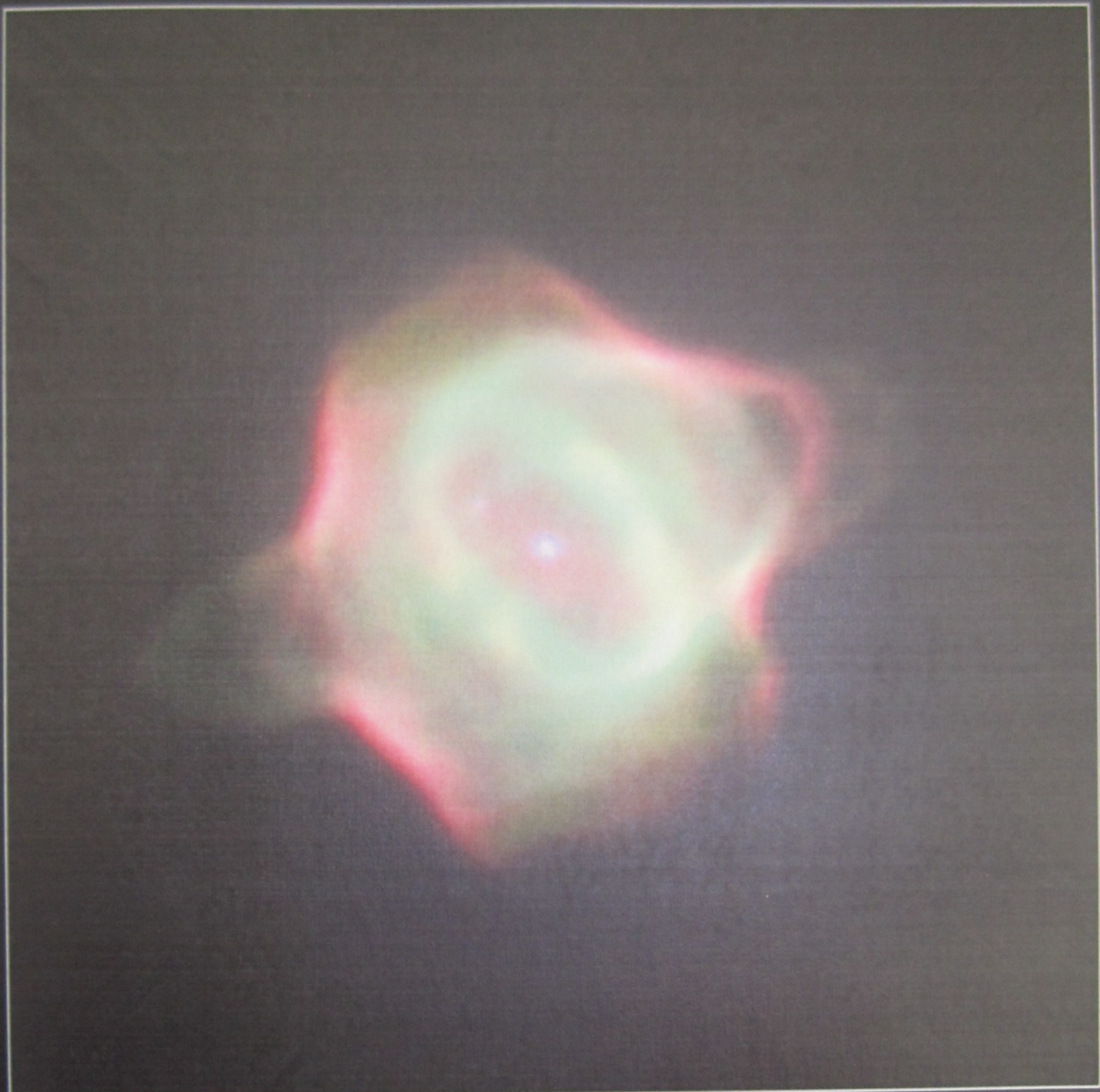


The Dark Cloud B68 at Different Wavelengths (NTT + SOFI)

ESO PR Photo 29b/99 (2 July 1999)

© European Southern Observatory





Henize 1357 • Stingray Nebula
Hubble Space Telescope • WFPC2

PRC98-15 • ST ScI OPO • April 2, 1998 • M. Bobrowsky (Orbital Sciences Corp.) and NASA



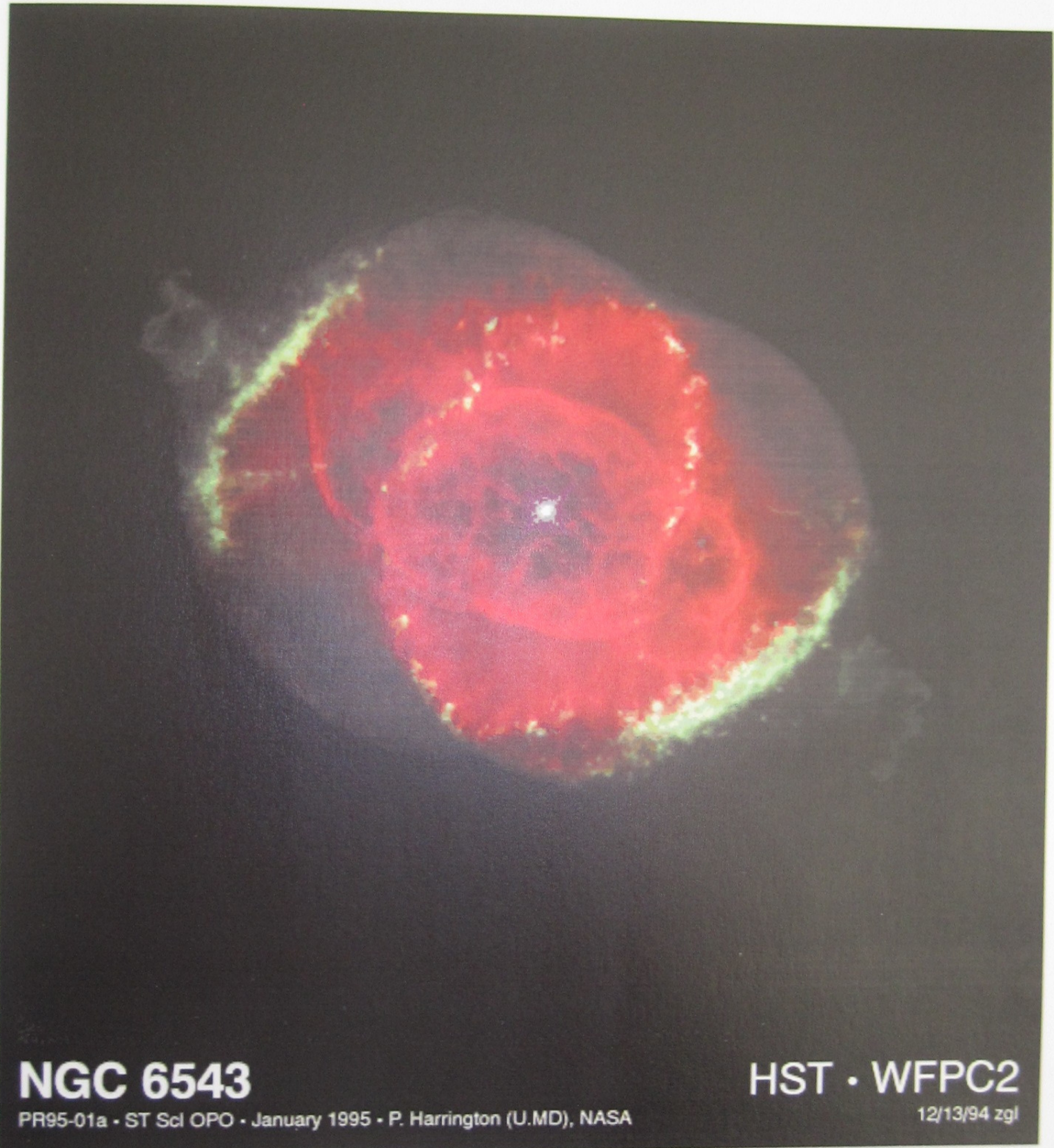
Planetary Nebula M2-9
Hubble Space Telescope • WFPC2

PRC97-38a • ST ScI OPO • December 17, 1997 • B. Balick (University of Washington) and NASA



Hourglass Nebula · MyCn18
Hubble Space Telescope · WFPC2

PRC96-07 · ST ScI OPO · January 16, 1996 · R. Sahai and J. Trauger (JPL), WFPC2 Science Team, NASA



NGC 6543

PR95-01a · ST ScI OPO · January 1995 · P. Harrington (U.MD), NASA

HST · WFPC2

12/13/94 zgl

Planetary Nebula NGC 3132



Hubble
Heritage

PRC98-39 • Space Telescope Science Institute • Hubble Heritage Team

Photographie n° 9



Helix Nebula • NGC 7293 • Las Campanas Observatory and HST
Black & White: J. Bedke (CSC/STScI), Carnegie Institution of Washington
Color Inset: C.R. O'Dell (Rice Univ.), NASA



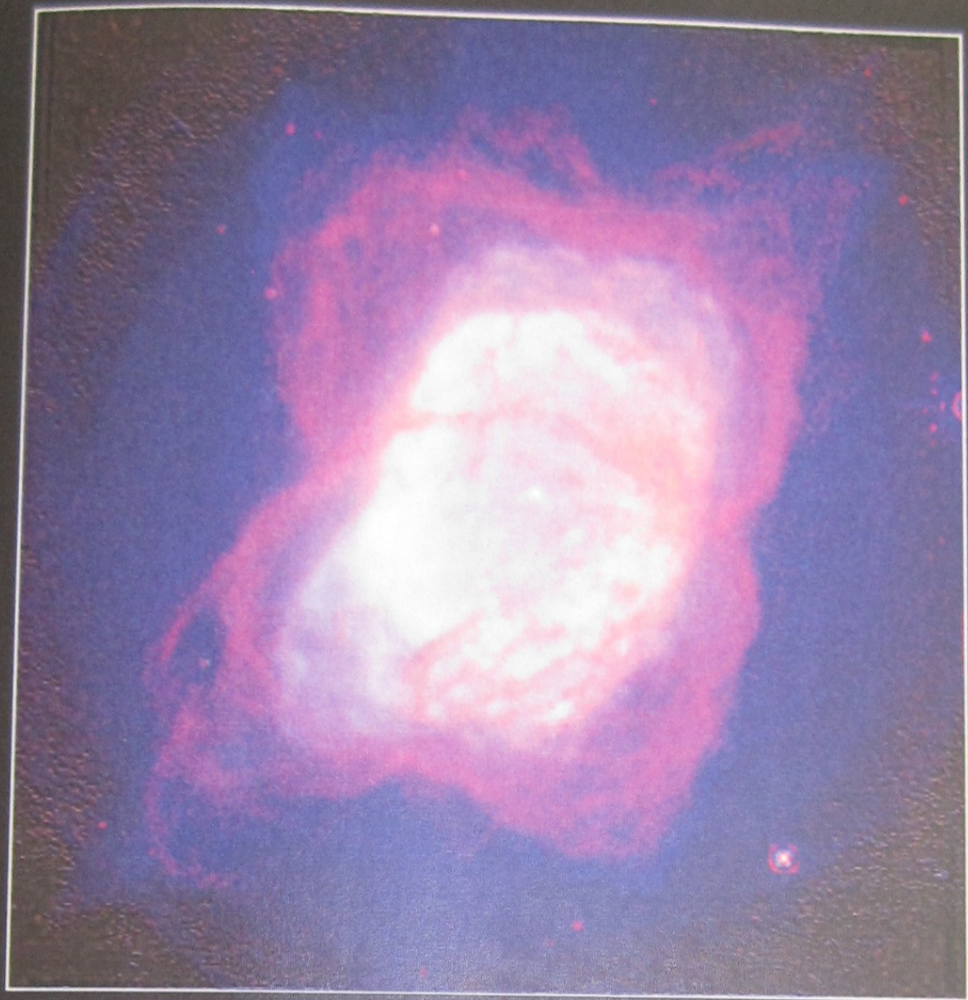
Helix Nebula · NGC 7293
Hubble Space Telescope · WFPC2

PRC96-13a · April 15, 1996 · ST ScI OPO · C.R. O'Dell (Rice Univ.), NASA



Helix Nebula Detail
Hubble Space Telescope • WFPC2

PRC96-13b • April 15, 1996 • ST ScI OPO • C.R. O'Dell (Rice Univ.), NASA



Planetary Nebula NGC 7027
 Hubble Space Telescope • NICMOS

PRC98-11a • March 12, 1998 • ST ScI OPO • W. Latter (SIRTF Science Center/IPAC/Caltech) and NASA



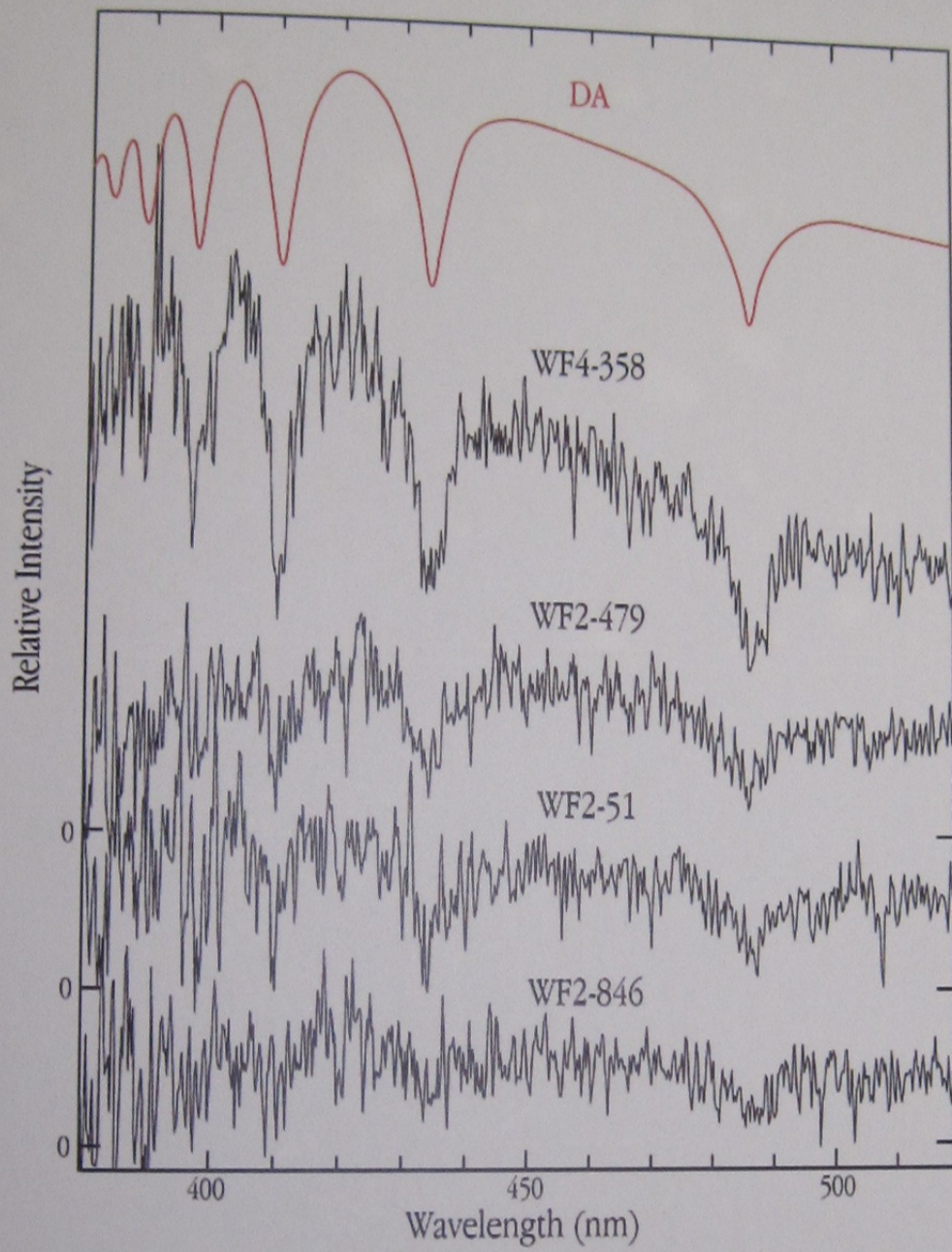


White Dwarf Stars in Globular Cluster NGC 6397
(HST + WPC2)

ESO PR Photo 45a/99 (14 December 1999)

European Southern Observatory



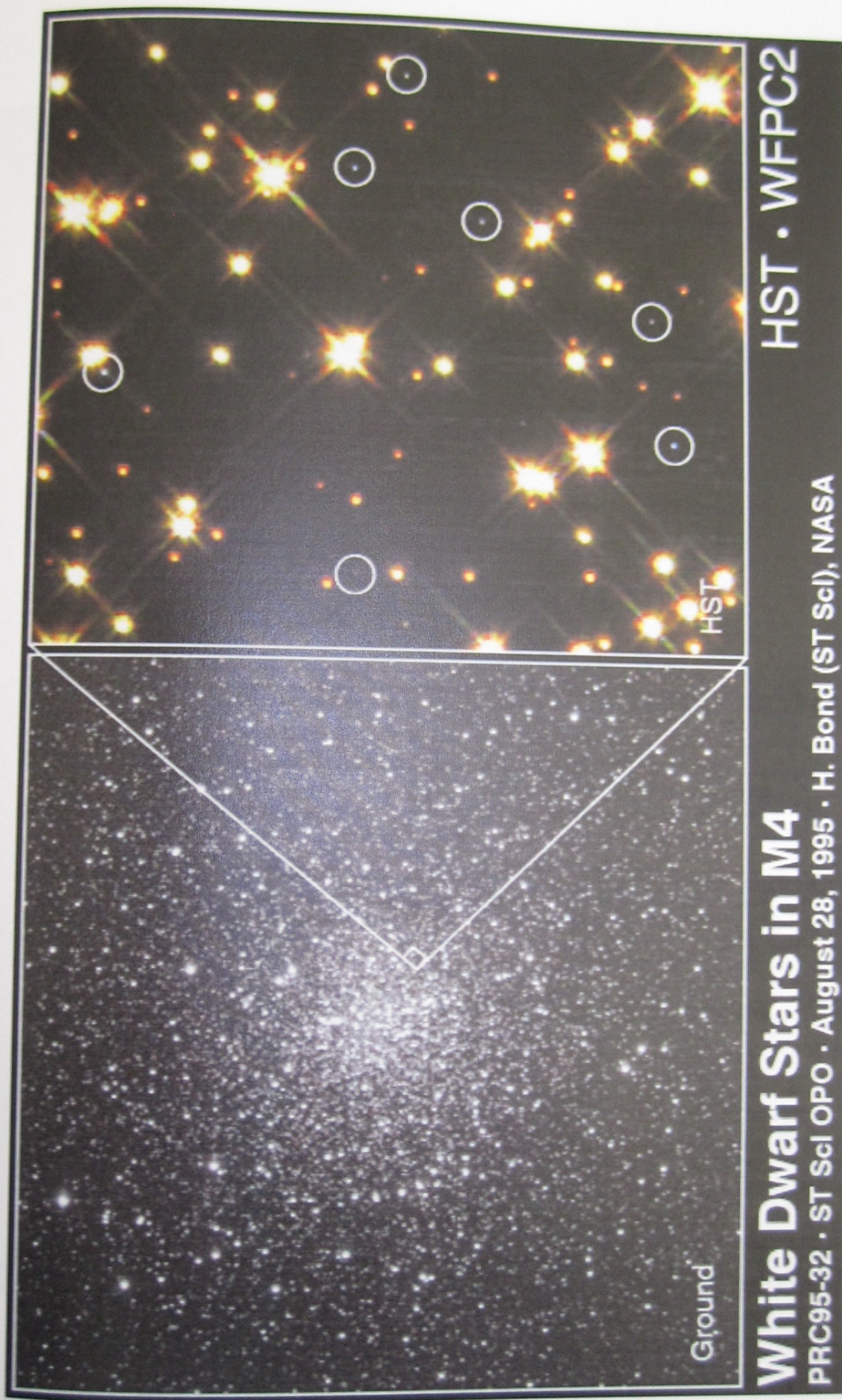


Spectra of White Dwarf Stars in NGC 6397
(VLT ANTU + FORS1)

ESO PR Photo 45b/99 (16 December 1999)

© European Southern Observatory





Photographie n° 16

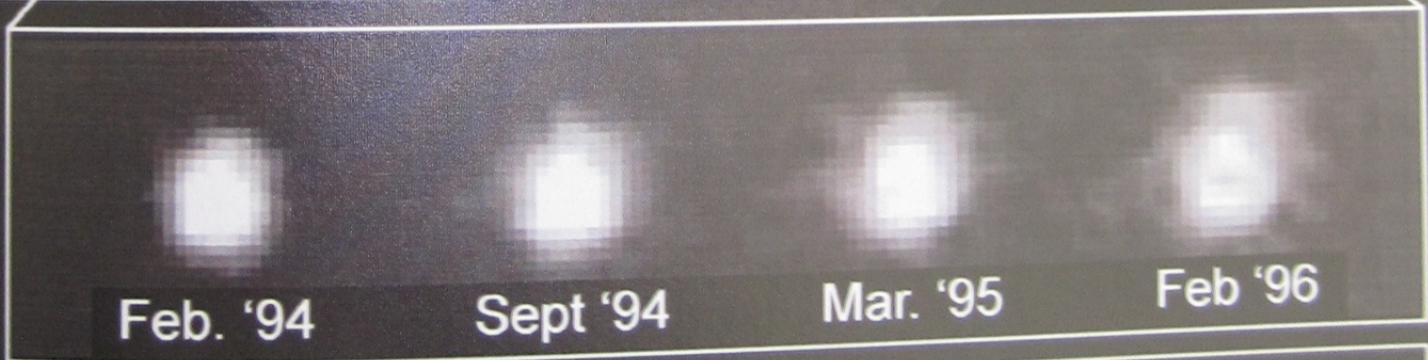


Globular Cluster G1 in Galaxy M31

Hubble Space Telescope · WFPC2



PRC96-11 · ST ScI OPO · April 24, 1996 · M. Rich (Columbia Univ.), NASA



Supernova 1987A Explosion Debris

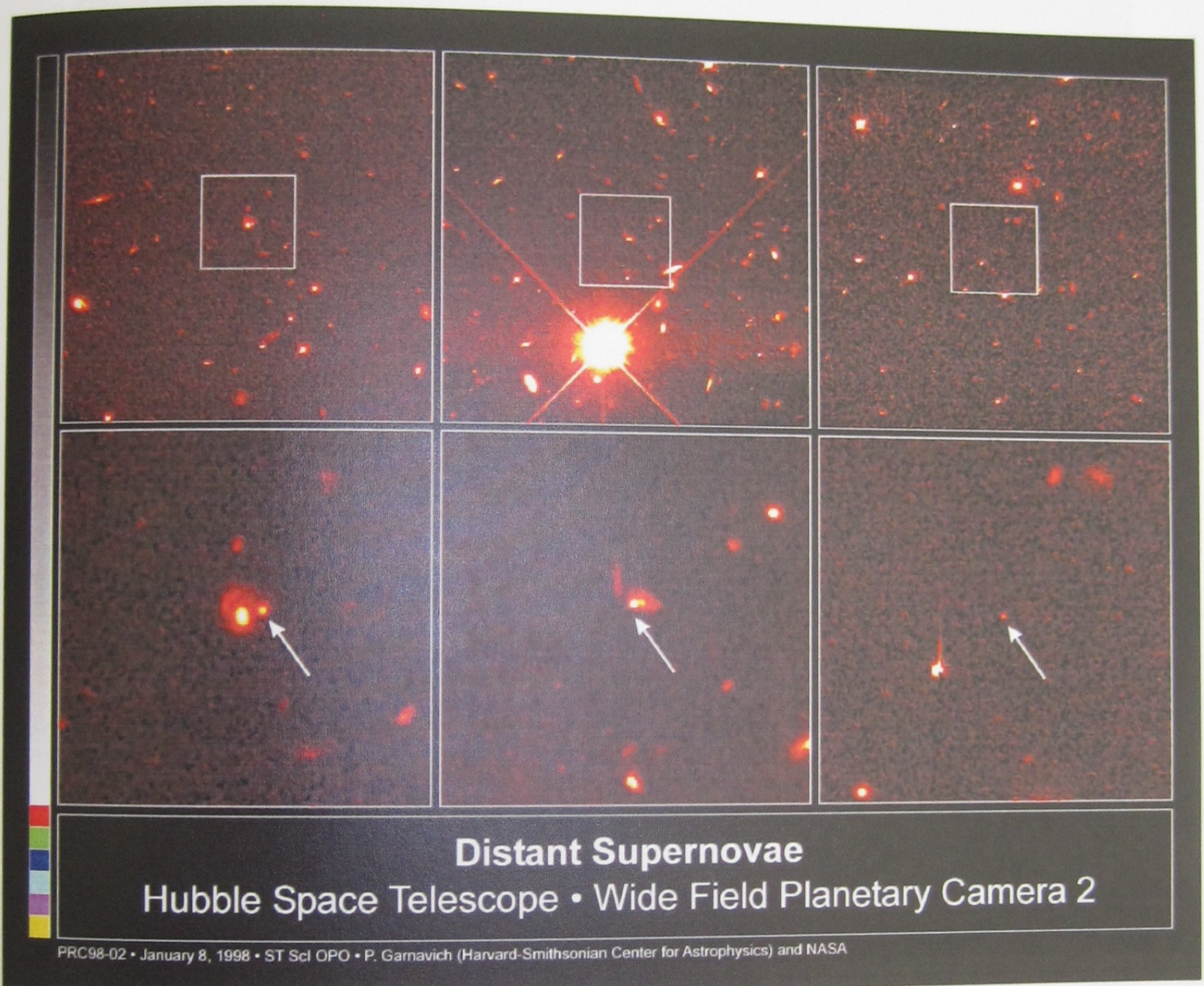
Hubble Space Telescope • WFPC2



PRC97-03 • ST ScI OPO • January 14, 1997 • J. Pun (NASA/GSFC), R. Kirshner (Harvard-Smithsonian CfA) and NASA



Photographie n° 19





Photographie n° 21



Photographie n° 22



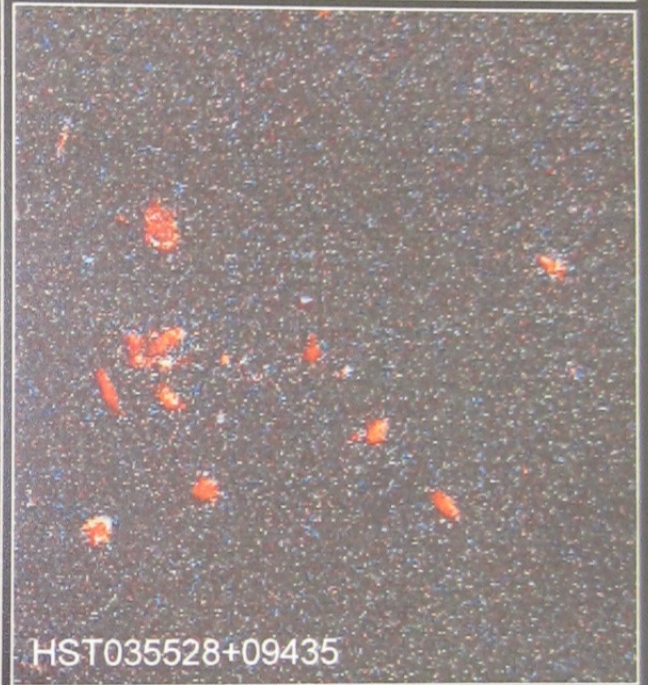
Photographie n° 23

Spiral Galaxy Pair NGC 3314



Hubble
Heritage

PRC00-14 • Space Telescope Science Institute • NASA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)



Distant Galaxy Clusters
Hubble Space Telescope • Wide Field Planetary Camera 2

PRC98-27 • STScI OPO • E. J. Ostrander, K. U. Ratnatunga, R. E. Griffiths (Carnegie Mellon University) and NASA

ENSEIGNEMENT DU DIPLÔME D'UNIVERSITÉ
DE
« ASTROPHYSIQUE : APPROFONDISSEMENT
À PROPOS DE L'ÂGE DE L'UNIVERS »
UNIVERSITÉ PARIS-SUD XI

Ces documents sont strictement réservés à l'usage privé de leurs destinataires et ne sont pas destinés à une utilisation collective. Les personnes qui s'en serviraient à d'autres usages, qui en feraient une reproduction intégrale ou partielle, une traduction sans le consentement du Centre National d'Enseignement à Distance s'exposeraient aux poursuites judiciaires et aux sanctions pénales prévues par la loi n° 92597 du 1^{er} juillet 1992.

Couverture : Cliché E.S.O.
European Southern Observatory