
L'astronomie dans le monde

Un univers ouvert?

Selon communiqué ESO PR05/96

Dans le cadre d'un programme « clef » de l'observatoire ESO, des astronomes européens ont étudié les mouvements de plus de 5600 galaxies représentant une centaine d'amas. Ce travail, qui double l'information disponible sur les vitesses dans les amas riches, permet d'évaluer la masse et la dynamique de ces derniers.

Le résultat essentiel de l'étude est que la densité de l'univers semble trop faible pour en arrêter l'expansion. L'univers serait donc « ouvert » et il grandirait indéfiniment.

Les amas de galaxies montrent la structure à grande échelle de l'univers

Il y a une quarantaine d'années, l'astronome américain George Abell, travaillant au Mont Palomar, a été le premier à réaliser une étude systématique des amas de galaxies « riches », c'est-à-dire ceux qui montrent un grand nombre de galaxies sur une petite surface apparente du ciel.

Il identifia et catalogua des milliers de ces amas qui sont maintenant connus sous le nom d'« amas Abell ».

Plus de vingt ans auparavant, l'astronome américano-suisse Fritz Zwicky, utilisant le télescope de 2m50 du Mont Wilson, avait conclu que la masse totale d'un amas riche était beaucoup plus grande que la masse combinée des galaxies qui le composent. C'est le problème de la « masse manquante » ou « matière obscure » et, depuis, de nombreuses tentatives ont été faites pour en élucider la nature. On en accepte généralement l'existence, mais il a été très difficile de la prouver de façon directe et catégorique.

Les amas riches ne sont pas faits que de galaxies et de matière obscure. Ils contiennent aussi du gaz très chaud (plusieurs millions de degrés) détectable par l'émission de rayons X. La grande masse des amas en fait des objets idéaux pour tracer la structure à grande échelle de l'univers.

Nécessité d'un échantillon complet

Si l'on veut étudier la structure de l'univers, il ne suffit pas d'analyser l'un ou l'autre de ces amas. Il faut un échantillon important, complet au sens statistique. De tels échantillons peuvent être construits à partir de catalogues comme celui d'Abell, ou à partir des observations X des amas. Il faut cependant s'assurer que les amas trouvés de cette façon sont bien réels. Ne résultent-ils pas de l'alignement fortuit de galaxies sur la ligne de visée? Cela peut se résoudre par des observations spectroscopiques qui, en donnant le décalage Doppler, établissent la distance des différentes galaxies au travers de la loi de Hubble d'expansion de l'univers qui lie distance et vitesse. L'analyse fine des décalages Doppler au sein d'un même amas donne, quant à elle, la dispersion des vitesses dans l'amas et, de là, une idée des masses en jeu par suite des lois de la gravitation (plus un amas est massif, et plus les vitesses doivent être élevées pour compenser les forces d'attraction).

Le programme ENACS de l'ESO

Jusqu'à présent il n'existait pas de données extensives et uniformes concernant les mouvements individuels des galaxies dans les amas. Le programme clef ENACS (ESO Nearby Abell Cluster Survey) de l'ESO a permis de récolter un échantillon substantiel de données spectroscopiques et photométriques sur une centaine d'amas riches de l'hémisphère austral.



L'amas riche Abell 548 est situé à une distance d'environ 650 millions d'années lumière. 300 galaxies ont été étudiées dans cet amas pour le programme ENACS. La masse totale est estimée à 1,5 million de milliards de masses solaires.

Pose de deux heures par le télescope Schmidt de 1m de La Silla.

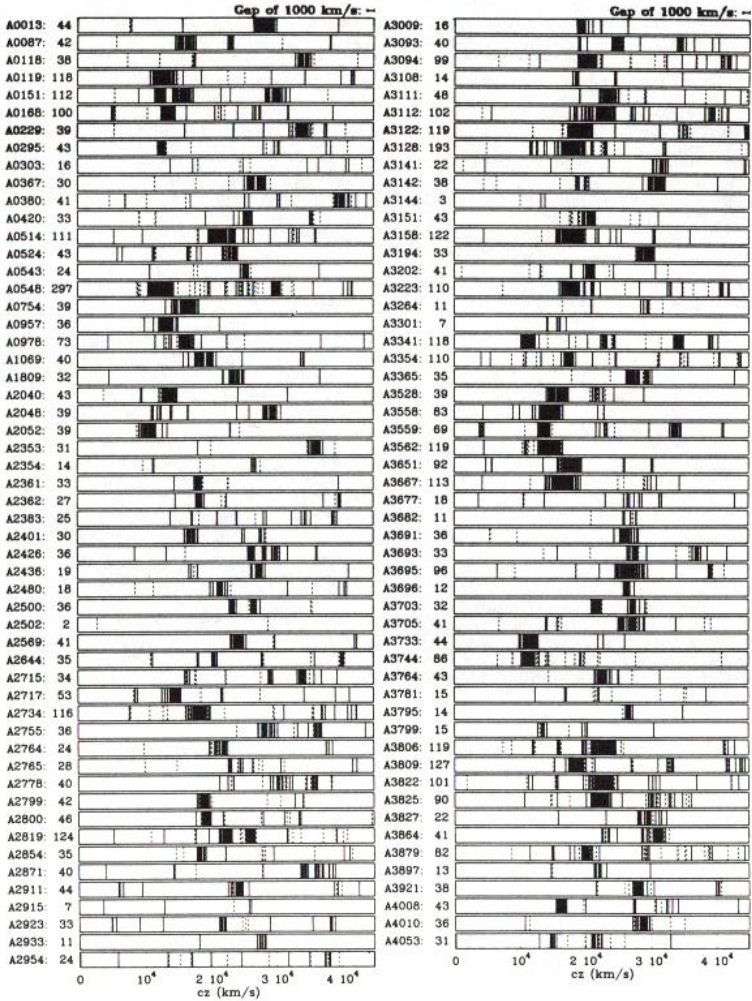
(© ESO)

Les observations ont été menées au télescope de 3m60 de La Silla avec un spectroscopie « multi-fibre » permettant la prise simultanée d'une cinquantaine de spectres. Cela réduit naturellement de façon considérable le temps nécessaire pour mener à bien le projet.

Combinées aux données antérieures, ENACS a produit un échantillon de 128 amas riches répartis de façon uniforme dans une région s'étendant autour du pôle galactique sud sur environ 20 pour cent de la sphère céleste, et sur une profondeur atteignant le milliard d'années lumière.

La plupart des amas Abell sont bien réels

Abell et ses collaborateurs avaient élaboré le catalogue d'amas par l'inspection visuelle des plaques photographiques obtenues au grand Schmidt du Mont Palomar. On s'est souvent inquiété de la possibilité que des alignements fortuits n'aient conduit à cataloguer comme amas des groupes de galaxies sans liens physiques. Les données d'ENACS prouvent que dans 90 pour cent des cas, les amas Abell sont bien réels, tout au moins en ce qui concerne les groupements riches et proches.



Vitesses radiales des galaxies dans 107 amas riches d'Abell. Le nom de chacun des amas est suivi du nombre de galaxies qui y ont été étudiées, et d'un schéma de la répartition des vitesses. Les galaxies à émission figurent en traits pointillés, les autres en traits pleins. Les amas vrais ressortent comme d'épaisses barres noires. Les galaxies en émissions montrent une plus forte dispersion des vitesses. (© ESO)

Cela n'empêche cependant pas que le quart des galaxies ENACS appartiennent à des amas plus petits ou soient totalement isolées dans l'espace. Cela se voit nettement sur le diagramme des vitesses radiales présenté à la page 84.

Masse des amas et densité de l'univers

La masse des amas a été déduite de l'échantillon complet de 128 amas et comparée aux distributions théoriques calculées selon divers modèles de formation des structures à grande échelle de l'univers.

La conclusion la plus importante est que les données sont en accord total avec l'hypothèse d'une densité moyenne peu élevée pour l'univers. La densité réelle doit être de loin inférieure à la valeur dite critique au-delà de laquelle l'expansion de l'univers ne durerait qu'un temps et finirait par se transformer en contraction. L'univers doit donc être « ouvert » et en expansion indéfinie.

La formation des amas se poursuit

Sur base des spectres, on peut distinguer deux types de galaxies dans l'échantillon ENACS : celles qui ont des raies en émission et les autres. Il se fait que les propriétés dynamiques de ces deux types sont également distinctes. Les premières consistent principalement en galaxies spirales contenant beaucoup de gaz ionisé. Ces galaxies ont tendance à éviter les régions centrales des amas, et leur vitesse radiale au sein des amas est de l'ordre de 20% plus élevée que celle des autres galaxies.

On peut interpréter cette anomalie en supposant que ces galaxies ne s'approchent du centre des amas que pour la première fois. Elles pourraient donc contribuer à la formation de ces amas. Ceci expliquerait au moins partiellement le défaut de masse observé actuellement.

Chasse aux mirages dans le ciel austral

J.-F. Claeskens, M. Remy et
communiqué ESO PR04/96

Un nouveau mirage cosmique a été découvert par trois astronomes liégeois, J.-F. Claeskens, J. Surdej et M. Remy, grâce au télescope NTT de 3m50 de l'ESO. Il consiste en l'image dédoublée d'un quasar dans la constellation de l'Hydre.

Lentilles gravitationnelles

Le principe physique du phénomène de mirage gravitationnel est apparu en 1916 comme une conséquence de la théorie de la relativité générale d'Einstein. Puisque le champ d'attraction d'un objet courbe localement l'espace-temps, la trajectoire des rayons lumineux passant à proximité est infléchi.

Cet effet a été observé pour la première fois par les astronomes en 1919 lors d'une éclipse de Soleil. Les étoiles photographiées près du Soleil avaient subi un déplacement par rapport à leur position habituelle, comme le prévoyait la théorie.

Dans les années 30, l'astronome Fritz Zwicky réalisa que le même effet devait avoir lieu dans l'espace intergalactique, lorsque qu'une galaxie ou un amas massif dévie les rayons d'un astre plus lointain (voir Fig. 1, p. 86). La lumière provenant de l'astre doit en quelque sorte contourner la galaxie pour parvenir à l'observateur. Pour ce faire plusieurs chemins peuvent s'offrir (2 dans le cas de la Figure 1). Dès lors, l'observateur voit plusieurs images (ici 2) du même astre : un mirage, d'origine gravitationnelle.

Une situation comparable a lieu dans l'atmosphère de la Terre, lorsque des couches d'air de températures différentes permettent également à la lumière de parcourir des chemins différents pour parvenir à l'observateur (Fig. 2). La cause est cette fois la réfraction de la lumière, et l'on parle alors de mirages atmosphériques.

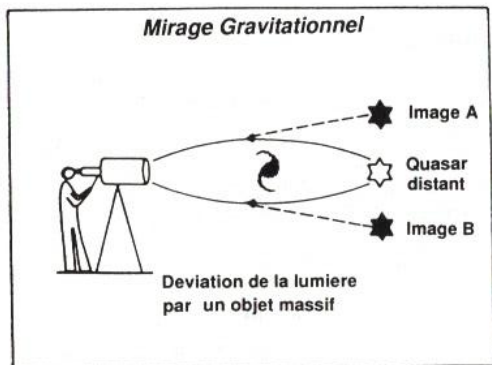


Figure 1

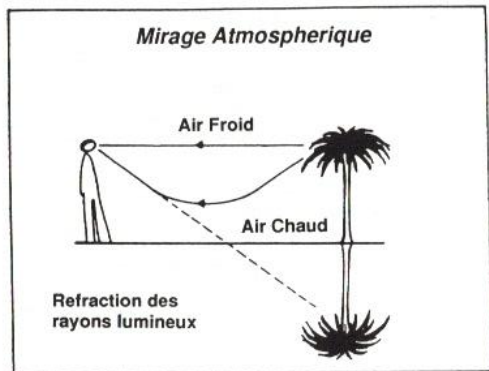


Figure 2

Dans le cas du mirage gravitationnel, la galaxie ou l'objet massif responsable du phénomène est également appelé « lentille gravitationnelle », par analogie avec une lentille optique.

L'effet de lentille n'a pas seulement pour conséquence de démultiplier l'image d'un astre lointain. Il peut aussi augmenter de façon appréciable le flux lumineux perçu en provenance de celui-ci. On peut donc dire que les galaxies et les amas de galaxies lointains peuvent agir comme des télescopes naturels, nous permettant d'accéder à des objets qui, sans leur aide, seraient hors d'atteinte.

Comment trouver des mirages cosmiques?

Plus un astre est distant, plus il y a de chances qu'une galaxie ou un objet massif se trouve interposé entre celui-ci et la Terre. Les astres les plus distants que nous connaissons sont les quasars. Les astronomes en ont identifié jusqu'à présent quelques milliers. On pense généralement que ce sont des noyaux de galaxies lointaines devenus anormalement brillants pour l'une ou l'autre raison. Leur luminosité intrinsèque peut être estimée dès que l'on connaît leur distance, elle-même évaluée par la mesure du décalage Doppler des raies spectrales vers le rouge (« redshift »).

Certains quasars montrent une luminosité intrinsèque tout à fait exceptionnelle, ce sont les HLQs (Highly Luminous Quasars). Une hypothèse plausible est que l'on surestime la luminosité intrinsèque de ces objets étranges par suite de l'amplification lumineuse due à un phénomène de mirage.

Le programme de recherche de lentilles gravitationnelles par les astronomes liégeois se base sur cette hypothèse en postulant que la proportion de lentilles gravitationnelles est beaucoup plus élevée parmi les HLQs que parmi les quasars normaux. La chasse aux mirages s'opère donc au moyen de l'imagerie à haute résolution angulaire des quasars intrinsèquement très lumineux.

Le nouveau mirage

Le quasar hautement lumineux J03.13 est le septième candidat découvert à La Silla depuis 1989 dans le cadre du programme liégeois. Sa magnitude apparente est de 17,2 et son redshift s'élève à 2,545. Son caractère double apparaît sur la figure de couverture de ce bulletin, qui montre une image obtenue au télescope NTT de 3m50 de l'ESO. Un programme de traitement d'images très sophistiqué a permis de décomposer l'objet en ses deux composantes, séparées de seulement 0,84 seconde d'arc. La différence de magnitude entre celles-ci est de 2,1.

La nature de mirage du quasar J03.13 A&B ne sera définitivement prouvée qu'au moyen d'une analyse spectrale individuelle de chaque image. En raison de la très faible séparation angulaire des images, l'obtention de spectres

distincts est impossible depuis le sol. C'est le télescope spatial qui se chargera bientôt de cette entreprise. Depuis le sol, on a cependant déjà pu détecter dans le spectre global la présence de condensations de matière entre nous et le quasar, à des redshifts de 2,340 et 1,085. Ce dernier système pourrait trahir l'existence d'une lentille gravitationnelle sur la ligne de visée.

On trouvera en couverture principale de ce numéro des images du quasar double J03.13. En haut à droite (A) on voit l'image brute obtenue en 3 minutes de pose en lumière rouge avec le télescope NTT de l'ESO à La Silla. On remarque la forme allongée de l'objet. En B on a enlevé artificiellement l'image de la composante principale, visible en C. En D les deux composantes sont retirées, ne laissant aucun résidu.
(© ESO)

Pourquoi découvrir des mirages gravitationnels?

Depuis la découverte du premier mirage de ce type en 1979, l'intérêt pour le phénomène de mirage gravitationnel n'a fait que croître.

C'est pour savoir dans quelle mesure notre vision de l'univers lointain est ainsi déformée que les astronomes liégeois ont entrepris un programme de recherche sur les « lentilles gravitationnelles ». Le problème est relié à celui de la « masse cachée ». La présence de cette dernière est en effet partiellement détectable à l'aide du phénomène de lentille gravitationnelle, puisque la présence d'objets obscurs compacts et massifs devrait se manifester par une augmentation du nombre de mirages. L'existence en grand nombre de tels objets dans l'univers pourrait influencer la densité de matière moyenne de celui-ci, et donc son évolution.

Sur plus d'un millier de HLQs observés jusqu'à présent avec les plus grands télescopes terrestres, ainsi qu'avec le Hubble Space Telescope, seul environ un pour cent de ceux-ci est affecté par l'effet de lentille gravitationnelle (J03.13 en fait partie).

Ces observations indiquent notamment que, s'ils existent, des objets obscurs et compacts d'une masse équivalente à celle d'une galaxie ne sont pas suffisamment nombreux pour contribuer à plus d'un pour cent de la densité critique de l'univers.

La comète Hyakutake

Selon circulaires IAU et communiqué ESO PR06/96

Cinq semaines et trois degrés séparent les deux découvertes de l'astronome japonais Yuji Hyakutake, les comètes C/1995 y1 et C/1996 b2. La première a fait l'objet d'un article dans le *Ciel* de février (page 49). La seconde, de loin la plus intéressante, a pu être annoncée in extremis dans l'annexe du même bulletin. Nous présentons en pages 107 et seq. une carte et des éphémérides plus précises.

Les astronomes qui auront la chance d'observer C/1996 b2 attendent avec impatience les prochaines semaines. Ce sera l'occasion d'étudier les environs immédiats d'un noyau cométaire en détail depuis la Terre.

Découverte et orbite

Yuji Hyakutake, photographeur de profession et astronome amateur renommé, a immédiatement annoncé sa découverte et, en 24 heures, la nouvelle comète avait pu être vue par plusieurs autres personnes au Japon et en Australie. Les spécialistes des comètes la décrivaient comme diffuse avec une condensation centrale de magnitude 11 ou 12.

Un tel éclat est assez habituel pour une comète découverte par un amateur. Si elle avait été plus faible, elle aurait probablement été manquée. L'atout maître de Hyakutake était certainement ses extraordinaires jumelles de 25x150. Le lieu d'observation, le sud du Japon, était aussi idéal pour une comète australe.

En moins de trois jours, environ 120 mesures de position avaient été obtenues de par le monde. Les calculs effectués au Bureau des Télégrammes Astronomiques montraient une orbite très allongée, proche de la parabole. La comète venait donc peut-être pour la première fois près du Soleil. Au moment de la décou-

verte, elle se trouvait à 280 millions de kilomètres de la Terre, et au-delà de l'orbite de la planète Mars.

Comme annoncé dans l'annexe du *Ciel* de février, la trajectoire de la comète va l'amener très près de notre planète, à un dixième d'unité astronomique, soit 15 millions de kilomètres.

Pour une fois la chance favorise l'hémisphère nord. Le périégée (passage au plus près de la Terre) aura lieu le lundi 25 mars. La comète sera alors dans le Dragon, et se dirigera vers le nord à la vitesse apparente exceptionnelle de 0,77 degré par heure. Elle passera près du pôle deux jours plus tard.

Le périhélie (passage au plus près du Soleil) interviendra le premier mai. La comète ne sera qu'à 35 millions de kilomètres du Soleil, bien plus près que Mercure. Elle se dirigera alors

vers le sud, traversant l'équateur à la mi-mai et atteignant la latitude australe de 70° à la fin juillet.

Un passage aussi rapproché est un événement rare. Dans le tableau ci-dessous, le JPL liste les comètes connues pour s'être approchées très près de la Terre. Il est possible qu'en 1491 une comète soit passée encore plus près (0,0094 UA) mais l'orbite en est peu sûre.

Ce qui est plus rare qu'un simple passage rapproché, c'est celui d'une comète aussi brillante. D'après le Bureau des télégrammes astronomiques, il faut remonter à l'an 1556 pour un événement aussi remarquable. Mais le caractère unique de cette comète est de présenter à la fois des distances de périégée et de périhélie aussi petites.

| Distance (UA) | Date (UT) | Désignation définitive |
|---------------|-----------------|--------------------------------------|
| 0.0151 | 1770 Juil. 1.7 | D/1770 L1 (Lexell) |
| 0.0229 | 1366 Oct. 26.4 | 55P/1366 U1 (Tempel-Tuttle) |
| 0.0312 | 1983 May 11.5 | C/1983 H1 (IRAS-Araki-Alcock) |
| 0.0334 | 837 Avr. 10.5 | 1P/837 F1 (Halley) |
| 0.0366 | 1805 Déc. 9.9 | 3D/1805 V1 (Biela) |
| 0.0390 | 1743 Fév. 8.9 | C/1743 C1 |
| 0.0394 | 1927 Juin 26.8 | 7P/Pons-Winnecke |
| 0.0437 | 1702 Avr. 20.2 | C/1702 H1 |
| 0.0617 | 1930 Mai 31.7 | 73P/1930 J1 (Schwassmann-Wachmann 3) |
| 0.0628 | 1983 Juin 12.8 | C/1983 J1 (Sugano-Saigusa-Fujikawa) |
| 0.0682 | 1760 Jan. 8.2 | C/1760 A1 (Great comet) |
| 0.0839 | 1853 Avr. 29.1 | C/1853 G1 (Schweizer) |
| 0.0879 | 1797 Août 16.5 | C/1797 P1 (Bouvard-Herschel) |
| 0.0884 | 374 Avr. 1.9 | 1P/374 E1 (Halley) |
| 0.0898 | 607 Avr. 19.2 | 1P/607 H1 (Halley) |
| 0.0934 | 1763 Sept. 23.7 | C/1763 S1 (Messier) |
| 0.0964 | 1864 Août 8.4 | C/1864 N1 (Tempel) |
| 0.0982 | 1862 Juil 4.6 | C/1862 N1 (Schmidt) |
| 0.1019 | 1996 Mar. 25.3 | C/1996 B2 (Hyakutake) |
| 0.1019 | 1961 Nov. 15.2 | C/1961 T1 (Seki) |



Deux images CCD de la comète, malheureusement en « fausses couleurs ». Poses de 6 et 20 minutes obtenues au télescope danois de 1m54 de La Silla par J.-M. Will de l'observatoire de Bonn. Le champ est d'environ 10 minutes d'arc. (© ESO)

Observations récentes

On pensait donc initialement qu'il s'agissait d'une comète « primordiale », visitant les régions centrales du système solaire pour la première fois. Cela rendait les prévisions de magnitude très difficiles. Les premières observations indiquaient une forte activité et incitaient à la confiance. La période est maintenant estimée à 10 ou 20.000 ans. Ce n'est donc pas une comète primordiale, et l'on est encore plus optimiste sur son évolution.

Des images CCD et des observations spectroscopiques ont été faites pour caractériser la comète. Des embryons de queues ont été observés dès la mi-février. La coma mesurait environ un demi-million de kilomètres de diamètre. Un jet incurvé a été observé

à partir du noyau, ce qui indique le développement d'une source localisée de poussières.

Des observations faites avec des filtres spéciaux, dans les longueurs d'onde de diverses molécules montrent des taux de productions équivalents à ceux de la comète de Halley dans des circonstances analogues. La production de poussières est également très importante.

En conclusion l'activité actuelle de la comète Hyakutake laisse augurer d'un superbe spectacle dès la mi-mars et peut-être jusqu'au mois de mai, après le passage au périhélie; c'est seulement alors qu'elle devrait développer une belle queue, mais l'observation en sera difficile à cause de la faible élongation au Soleil.

Mais réservons les pronostics, comme chaque fois qu'il est question de comètes. Souvenons-nous des flops de Kohoutek et Austin!

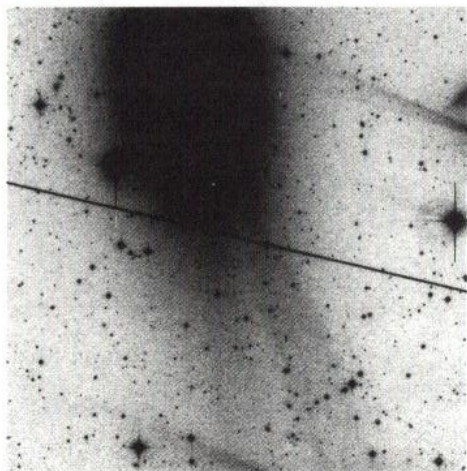


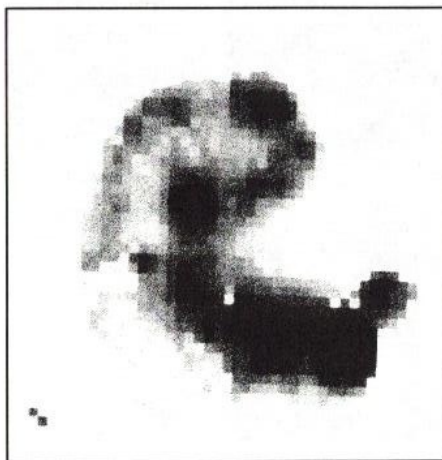
Image CCD de la comète obtenue le 16 février en 15 minutes au télescope danois de 1m54 de La Silla et montrant le début de queues. Le champ est d'environ 10 minutes d'arc. (© ESO)

ISO au travail

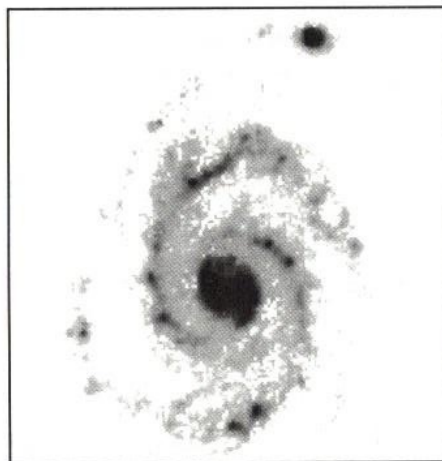
Depuis son lancement le 17 novembre, le satellite infrarouge ISO a passé sans encombre une série de tests et de vérifications. C'est seulement en ce mois de février que les travaux astronomiques démarraient pour de bon. Ils associent environ 500 équipes européennes, américaines et japonaises et plus d'un millier d'astronomes.

Prévu pour durer 18 mois, il semble que la réserve d'hélium liquide embarquée à bord permettra au satellite de travailler 6 mois de plus. Les travaux astronomiques pourront donc se poursuivre jusqu'en novembre 1997. Tous les systèmes de l'engin spatial fonctionnent parfaitement et ISO est un triomphe pour les

équipes industrielles européennes qui l'ont réalisé.



Les galaxies en collision NGC 4038 et 4039 observées par ISO à la longueur d'onde de 15 microns.



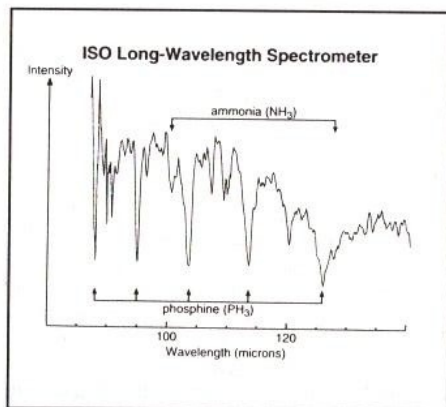
La galaxie M51 (NGC5194/5) observée par ISO à 15 microns. Les points brillants le long des bras sont des zones de formation d'étoiles.

Parmi les premiers objectifs scientifiques réalisés durant la période de test, on notera l'étude de galaxies en interaction, telles que les « antennes », Arp 220 ou NGC 6090. ISO y a remarqué l'existence de zones actives de formation stellaire.

Plus près de nous, la galaxie M51 (le logo de la SAL) a montré des régions de formation le long des bras spiraux, de leur extrémité jusqu'au noyau.

Dans notre propre Galaxie, ISO a identifié de nouvelles molécules, telles que le cyanure d'hydrogène, dans des nuages de poussières. Il a aussi étudié des débris de supernovae anciennes et des nébuleuses planétaires.

Enfin, dans notre système solaire, ISO s'est déjà spécialement occupé de la planète Saturne et de sa composition chimique.



Un spectre de Saturne obtenu par ISO dans le domaine des grandes longueurs d'onde montre des bandes moléculaires de NH₃ et PH₃.