Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 62 (2004)
Heft: 322

Artikel: L'universe, dis-moi ce que c'est? : Épisode 22 : la matière interstellaire, 3e partie

Autor: Barblan, Fabio

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-898340

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

L'Univers, dis-moi ce que c'est?

FABIO BARBLAN

Episode 22: La matière interstellaire, 3e partie

4. Les gaz ionisés dans la matière interstellaire:

Fig. 1. Premier plan sur M42 et M43.

2e partie I: la nébuleuse d'Orion et la nébuleuse Trifide

4.1. La nébuleuse d'Orion[1] (NGC 1976 ou M 42)

Située à une distance de seulement 1500 A.L[2] (environ 460 pc), c'est la nébuleuse la plus proche de nous et donc la mieux étudiée. Son faible éloignement permet une observation très précise et dans les moindres détails. Malgré son diamètre total de 30 A.L. et sa partie centrale lumineuse étendue sur cinq à six années lumière, il est possible d'étudier d'une façon très méticuleuse sa structure à grande échelle (fig. 1). La découverte de la nébuleuse est attribuée à NICHOLAS PEIRESC en 1611. En 1618, elle est aussi citée par Cysatus, un jésuite suisse[3]. Les premiers dessins et descriptions sont l'œuvre de CHRISTIAN HUYGHENS en 1656. Il met, en particulier, l'accent sur la multiplicité de l'étoile Thêta. La carrière d'observateur de WILLIAM HERSCHEL débute en 1744 avec l'étude de la nébuleuse d'Orion (fig. 2). Son travail est complété et approfondi par son fils JOHN HERSCHEL qui commence en 1825 un programme d'observation de la nébuleuse. Sa description méticuleuse de cet objet est encore appréciée actuellement. La première photographie réussie date de 1880 et a été prise par HENRY DRAPER. Les observations spectroscopiques de la nébuleuse débutent en 1864 avec WILLIAM HUGGINS, qui déduit de ses observations que la nébuleuse doit être constituée de gaz raréfié et excité à luminescence. On mesure l' importance de cette affirmation si on pense, qu'à l'époque, la grande majorité des astronomes considéraient que ce type d'objet représentait en principe un amas stellaire non résolu.

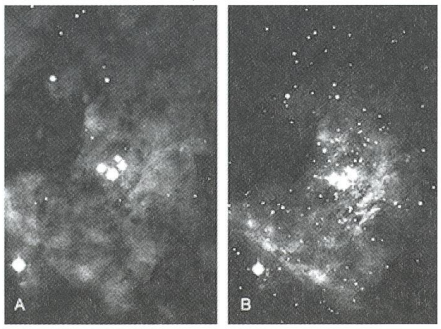
Fig. 2. La nébuleuse M42 vue par WILIAM HERSCHEL.

La région H II possède une étendue globale d'environ dix minutes d'arc carré. Le noyau central (environ quatre minutes d'arc carré) est une région active de formation stellaire (fig. 3) . L'environnement du jeune amas stellaire, l'amas du Trapèze (fig. 6b), présente un intérêt particulier; en effet, ses étoiles sont responsables de l'ionisation du milieu. Cet amas est formé d'étoiles massives de type spectral O6/7, mais aussi d'étoiles de plus faible masse qui ne sont visibles que dans l'infrarouge et sur des images de très longue exposition.

Cet amas est parmi les plus jeunes amas connus[4]. Il est décrit pour la première fois, en tant qu'étoile triple par

Fig. 4. Le nébuleuse de Kleinmann-Low. Cette image, prise à la longueur d'onde de 2.12 m, rend visible l'hydrogène moléculaire chaud à une température de 2000°K. Au centre de cette région, se trouve une étoile, en formation, trente fois plus massive que le soleil. Un vent stellaire de plus de cent kilomètres par seconde est émis par cette protoétoile créant une «cavité» en forme de papillon qui permet à la lumière infrarouge de s'échapper. Les rayures verticales et les points blancs sont des artefacts dus au traitement de l'image. Cette photo a été prise par le télescope Subaru de 8.2 mètres de diamètre, au Mont Manua Kea en 1999. Son extension est de deux minutes d'arc.

Fig. 3. La partie centrale de M42, l'amas du Trapèze. L'image A est en lumière bleue par contre l'image B, en lumière infrarouge, fait apparaître une multitude d'étoiles jeunes non visibles dans le premier cas.



[1] La zone d'Orion est riche en nébuleuses: on y trouve la nébuleuse «Tête de Cheval» (B33), la nébuleuse NGC 1977, M43, M78, etc. Dans cet épisode, il est question de la «Grande nébuleuse d'Orion» M 42.

[2] Toutes les indications de distance, âge et dimension citées sont sujettes à caution. En effet, les différents auteurs ne sont pas toujours d'accord entre eux et ces données peuvent changer d'un document à un autre.

[3] Il est étonnant de remarquer que Galilée, qui a porté une grande attention à la région d'Orion, n'a jamais cité cette nébuleuse.

[4] Du point de vue de l'âge stellaire évidemment.

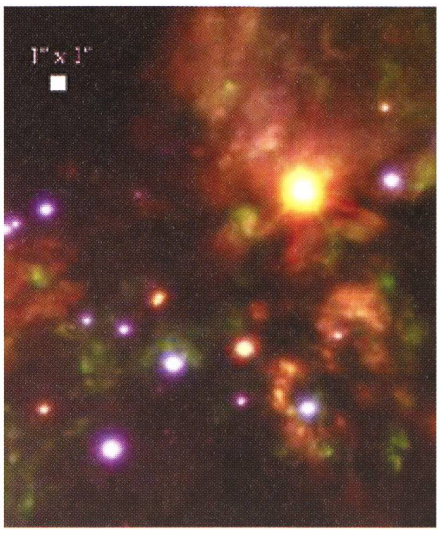


Fig. 5. Cette image a été prise avec le VLT muni de son optique adaptative NAOS. C'est la région de Kleinmann-Low autour de l'objet de Becklin-Neugebauer situé au voisinage immédiat des quatre étoiles du Trapèze. C'est une région très active du point de vue de la formation des étoiles. Elle contient un amas stellaire très jeune encore enrobé dans un nuage de gaz et de poussières. Le point le plus brillant de cette image est la source infrarouge Becklin-Neugebauer qui cache une protoétoile. Les sources les plus faibles sont des protoétoiles de faible masse.

Hodierna au milieu du XVIIe siècle (fig. 8). Sa quatrième composante (D), de cet amas, est découverte en 1684 par HUYGENS. La découverte de la cinquième revient à WILHELM STRUVE en 1826. JOHN HERSCHEL découvre la sixième composante le 13 février 1830 et en 1888 ALVAN CLARK et E. E. BARNARD, respectivement, découvrent les deux dernières composantes. A noter ici que la composante θ Ori A est une étoile double. C'est une binaire à éclipses de type Algol ayant une période de 65.43 jours. Le fait étrange est que cette découverte ne date que de 1973, comme quoi, même dans une région hyper-étudiée, on peut passer pendant des nombreuses années à côté d'un élément simple mais essentiel.

L'amas du Trapèze est né dans la partie antérieure du nuage moléculaire de KLEINMANN-LOW (1967)[5] dont la structure filamenteuse a été mise en évidence en 1993 (fig. 4). Il est enrobé dans un complexe massif de gaz neutre, ionisé et moléculaire qui contient entre autres des binaires spectroscopiques, des sources masers et des sources infrarouges.

Des recherches récentes ont montré que la région H II est entourée d'une couche «interface» de gaz dense, entre le gaz ionisé et le gaz moléculaire. La chimie dans cette couche est entièrement conditionnée par le rayonnement ultraviolet. Ce fait est mis en évidence, entre autres, par la sous-abondance de deux molécules HC_3N et N_2H+ qui sont extrêmement sensibles aux rayons UV et facilement dissociées par ce dernier.

Un autre lieu de formation d'étoiles est probablement l'environnement de la source infrarouge de BECKLIN-NEUGEBAUER (1967) (fig. 5) située aussi sur la face antérieure du nuage moléculaire.

En 1979, LACQUES et VIDAL découvrent ce que l'on appelle maintenant les «nœuds LV» (fig. 6a,b). Ils en ont recen-

[5] La partie la plus active du complexe de la nébuleuse d'Orion est appelée la «nébuleuse de Kleinmann-Low» d'après le nom des deux scientifiques qui l'ont étudiée en premier. Par extension, on parle de région de type Kleinmann-Low pour d'autres complexes analogues de formation d'étoiles.

Fig. 6a. Une magnifique photo de l'amas du Trapèze. Sont aussi visibles sur cette image les globules dont l'enveloppe est soufflée par le vent stellaire de étoile «centrale» de l'amas. A comparer avec le schéma de la figure 6b.

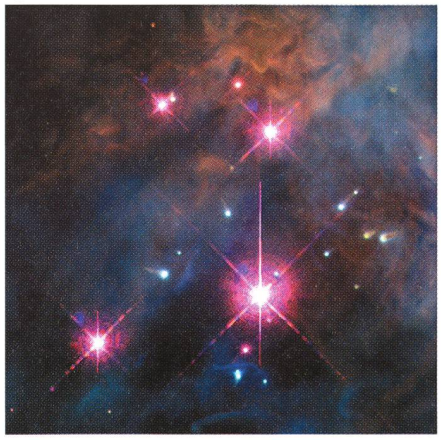
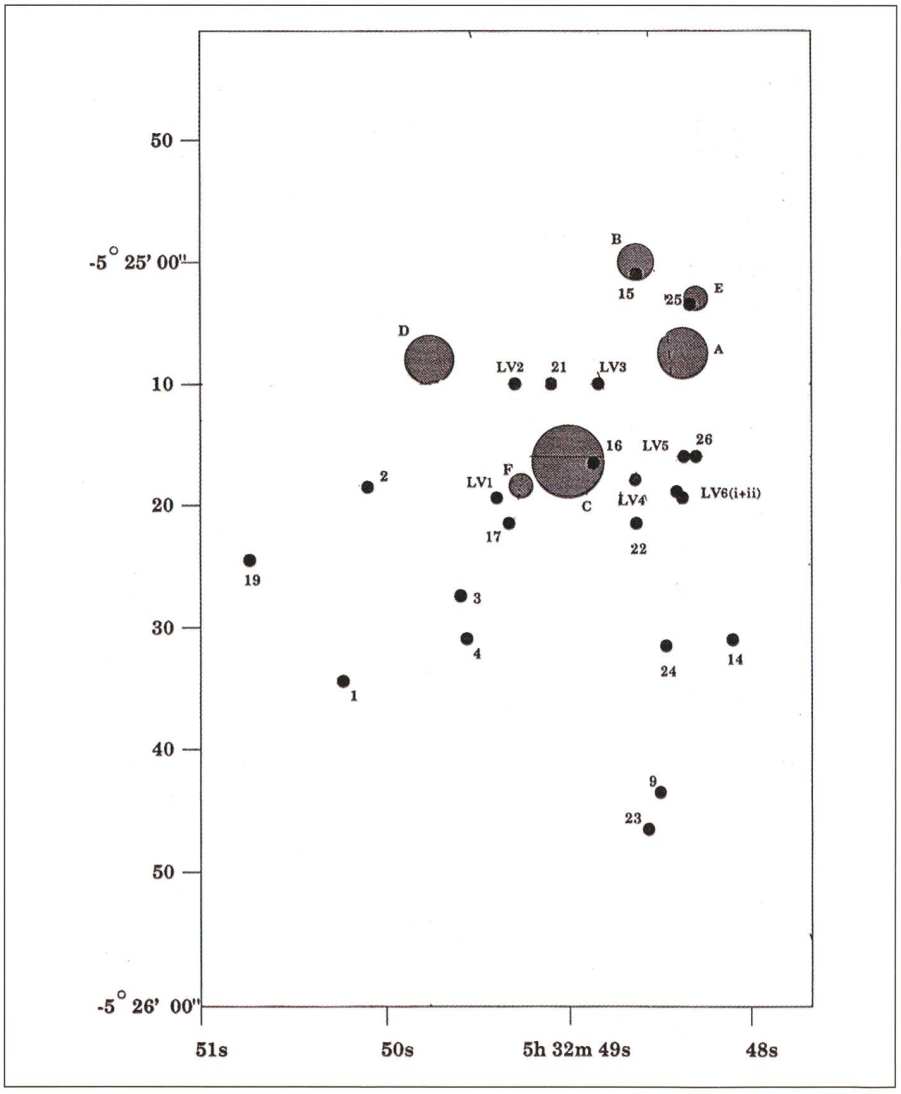


Fig. 6b. Voici un schéma des étoiles de l'amas du Trapèze (ronds hachurés), des six nœuds de Laques-Vidal (LV1 à LV6) et des nœuds (les autres points noirs de 1 à 26), découverts lors d'une recherche effectuée au début des années quatre-vingt-dix représentent des sources radio compactes



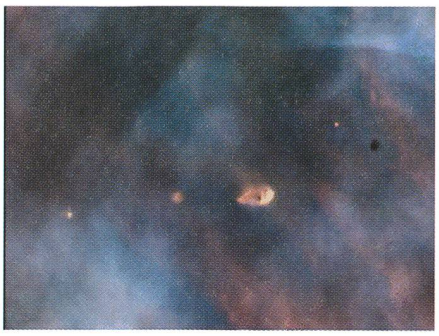


Fig. 7. Le 29 décembre 1993, Hubble réalise cette image de cinq jeunes étoiles dont quatre sont entourées d'un disque de gaz et de poussières. Ces disques peuvent éventuellement engendrer des planètes (disques proto-planétaires). Les proplyds qui sont proches des étoiles chaudes de l'amas sont vus comme lumineux, par contre celui qui se trouve loin de ces étoiles est vu comme un point noir. Le champ de cette image est de 0.14 AL.

sé six en tout. Ce sont des régions denses et ionisées situées dans un rayon de neuf arc secondes autour de l'étoile θ^1 Ori C (fig. 6a,b).. C'est une binaire à éclipses ayant une période de 65.43 jours. Des objets stellaires ont été identifiés, en 1988, à l'intérieur de chacun de ces nœuds. Une étude dans la longueur d'onde de l'oxygène trois fois ionisé (5007 Å) permet de découvrir l'existence de jets de matière sortant de ces nœuds à des vitesses de l'ordre de 100 km/s. A la même époque, on découvre dans le domaine radio 32 sources compactes dont les nœuds LV. Une équipe utilisant le télescope spatial Hubble montre que certaines de ces radio-sources compactes sont des coquilles ionisées qui entourent des jeunes objets stellaires eux-même enrobés dans des disques de poussière souvent de forme allongée. Ils ont donné le nom de «proplyds» (fig. 7) à ces disques (de l'anglais proto planetary discs). On pense que le fort vent stellaire de θ^1 Ori C a nettoyé le gaz diffus ambiant mettant ainsi en évidence ces globules, lieux de formations d'étoiles de faible masse.

L'interprétation des flux localisés de gaz ionisé, dans le noyau de quatre minutes d'arc de la nébuleuse, est singulièrement compliquée par la présence de nombreux objets de type Herbig-Haro (~1951)[6]. L'origine de ces configurations semble être l'interaction entre la matière de l'environnement et des jets à haute vitesse de gaz moléculaire, jets liés à la formation des étoiles massives de la région Kleinmann-Low. On a identifié pas moins de cinq mécanismes produisant ces flux localisés de gaz ionisé à haute vitesse: a) jet bipolaire d'un jeune objet stellaire ionisé par le rayonnement UV de θ^1 Ori C, b) jet accéléré unidirectionnel de matériel globulaire évaporé par le vent subsonique de θ^1 Ori C, c) jet produit par une bulle en expansion, sous l'effet de la pression du vent stellaire de θ^1 Ori C, faisant évaporer du matériel globulaire, d) même situation que c) mais avec un front plus large qui va produire un arc de matière chaude évaporée autour du globule (dimension de cet arc environ sept secondes d'arc), e) des filaments moléculaires (doigts) issus de la source de Becklin-Neugebauer qui interagissent avec le front d'ionisation. Tout cela donne une idée de la complexité dynamique d'une région de formation d'étoiles, mais aussi une idée de l'effort de réflexion et d'interprétation qui est demandé aux scientifiques.

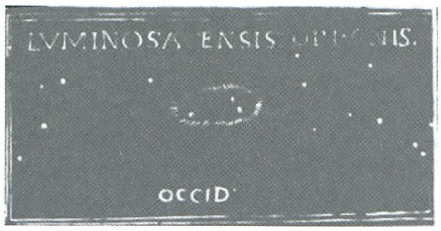


Fig. 8. Il y a 350 ans le premier dessin de l'amas du Trapèze a été crée par Hodierna.

Ceux-ci doivent à partir de données présentant une «image de la réalité» à deux dimensions reconstruire ces structures complexes en trois dimensions.

Nous avons dans cette description de la nébuleuse d'Orion tous les ingrédients des régions de formation active d'étoiles que nous allons retrouver dans les trois autres exemples évoqués ici: du gaz ioni-

Fig. 9. La nébuleuse Trifide. Elle représente un excellent exemple de nébuleuse à émission et à réflexion. La partie rouge contient un amas d'étoiles brillantes bleues dont le flux ultraviolet ionise le gaz interstellaire. Plus loin, le rayonnement de ces mêmes étoiles, ayant perdu de l'intensité, n'arrive plus à ioniser le gaz et est réfléchi par ce dernier en donnant la coloration bleue.

[6] Les découvertes ont été faites indépendamment l'une de l'autre. HERBIG travaillait à Lick et Haro à Mexico. Ils identifièrent dans la nébuleuse d'Orion d'«étranges» objets qui, à l'époque, ne ressemblaient à rien de connu. Ces objets sont en fait le témoignage d'une phase cruciale de la formation stellaire. Le moment ou la future étoile doit pour gagner le droit de vivre expulser une quantité phénomenale de matière. Les objets de Herbig-Haro sont la trace visible de l'onde de choc produite par des jets de matière expulsés à haute vitesse qui s'engouffrent dans le nuage moléculaire.

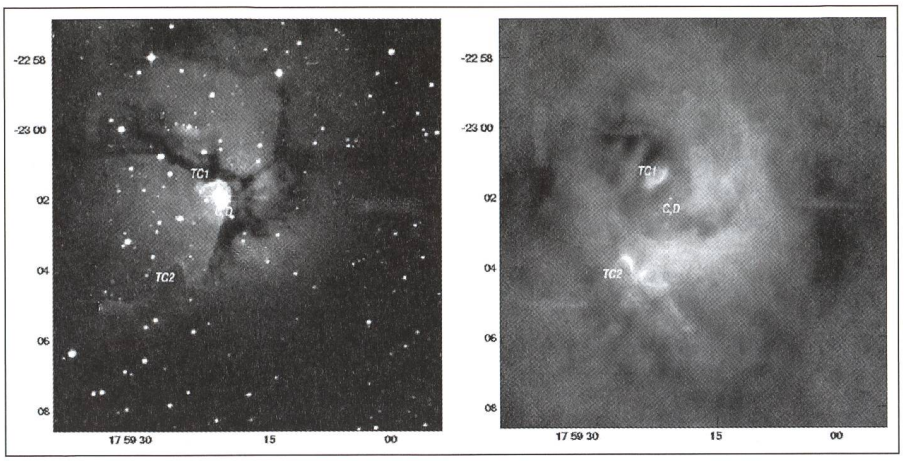


Fig. 10a et 10b. Deux images de la même région centrale de la nébuleuse. L'image a) est une image du Digital Sky Survey du Palomar, par contre l'image b) est prise à la longueur d'onde de 6 cm dans le fond continu radio. Sont également indiquées sur ces images les deux régions TC1 et TC2. On constate les différences marquées dans la structure de la nébuleuse entre ces deux images. Chaque «longueur d'onde» apporte sa contribution à la connaissance des mécanismes physiques qui sont sous-jacents à ces zones complexes de formation d'étoiles.

sé, du gaz moléculaire, un jeune amas stellaire d'étoiles massives, dont le rayonnement ultraviolet, ionise le milieu, des structures compliquées de jets de matière à haute vitesse et des noyaux denses contenant des étoiles de plus faible masse en voie de formation avec, cela n'est pas exclu, la création de planètes.

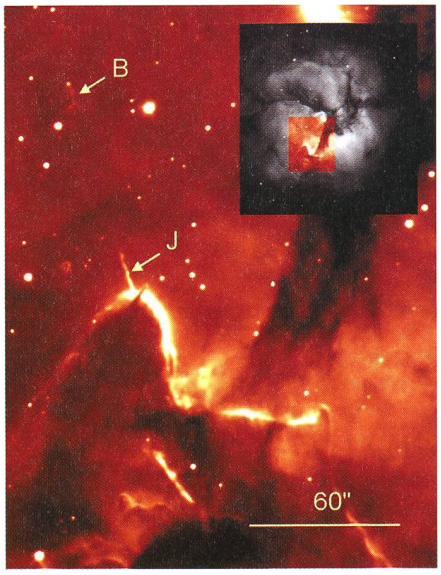
4.2. La nébuleuse Trifide (NGC 6514 ou M 20)

La nébuleuse Trifide, ainsi appelée parce qu'elle est constituée de trois régions brillantes séparées par des zones sombres, est une jeune région H II de notre galaxie située dans le bras du Sagittaire. On estime son âge entre 300 et 400 000 ans; cette nébuleuse est donc parmi une des plus jeunes régions H II connues. Située à une distance héliocentrique approximative de 1.7 kpc avec un diamètre apparent de six à dix minutes d'arc, elle possède une étendue réelle de trois à cinq parsecs (pc) (1 pc est égal à 3.26 années lumière).

Cette nébuleuse est intéressante à plus d'un point de vue. Non seulement, c'est une région HII, ce qui signifie, comme nous l'avons vu dans l'épisode précédent, que des jeunes étoiles photo-ionisent le gaz de la nébuleuse, mais elle contient aussi des zones de formations de proto-étoiles. La matière contenue dans cette nébuleuse a donc engendré une première génération d'étoiles. L'étoile centrale et ses quelques compagnons ionisent le gaz de la nébuleuse et le phénomène d'expansion de la nébuleuse engendré par cette ionisation induit actuellement la naissance d'autres étoiles. C'est une région de formation massive de jeunes étoiles, des proto-étoiles, dont l'activité violente se manifeste par des jets de matière mis en évidence par le télescope infrarouge ISO et le télescope spatial Hubble.

Les astrophysiciens qui étudient cette région parlent d'une situation pré-Orion. En effet, des études récentes ont montré que ces proto-étoiles sont enrobées dans de la matière interstellaire dense et froide dont les propriétés physiques sont semblables à celles observées dans les proto-étoiles de la nébuleuse d'Orion (proplyds). Seulement, dans la nébuleuse Trifide, on les observe à un stade plus jeune que dans le cas d'Orion qui est dix fois plus âgée. Ces sources proto-stellaires ont des masses variant entre 17 et 60 masses solaires. Deux régions étendues et ionisées, TC1 et TC2, sont associées avec des sources ponctuelles de poussières (détectables à la longueur d'onde de 1.3 mm). L'âge de ces deux régions est estimé à cent mille ans; elles sont donc postérieures à la formation de la région H II. Ces condensations sont des agglomérations localisées qui émergent de la nébuleuse en expansion par fragmentation de la couche moléculaire dense qui entoure le gaz ionisé.

Fig. 11. Un zoom impressionnant sur la région de formation d'étoiles TC2 avec la mise en évidence d'un jet de matière J d'une longueur de 0.16 pc. Ce jet est associé à une protoétoile. La lettre B indique la région, à une distance de 0.65 pc, où le gaz du jet J entre en collision avec le milieu interstellaire en produisant une zone de choc.



Nous avons vu, dans le cadre de la nébuleuse d'Orion, qu'il existe entre la zone H II de gaz ionisé et le nuage moléculaire une couche de transition où le rayonnement ultraviolet est encore actif. Ce fait est magnifiquement illustré par le complexe du globule TC2. La figure 12 est une représentation schématique de ce globule et est à mettre en étroite relation avec les images 11 et 13. Une recherche récente (2002) effectuée avec le radiotélescope de 30 mètres de l'IRAM, le VLA (Very Large Array) et ISO (Infrared Space Observatory) a permis de donner les caractéristiques physiques des quatre zones évoquées dans le schéma de la figure 12. La température de l'étoile centrale HD 164492A est de 35 500 °K, la masse totale est estimée à 63 masses solaires et le rayon total est de l'ordre de $4x10^{12}$ kilomètres. Les poussières du nuage moléculaire froid (zone IV) ont une température de 22°K et sa masse totale est de l'ordre de 27 masses solaires. La région de photodissociation (zone 3) possède une épaisseur de 10^{12} kilomètres et une température de 46°K.

TC2 montre des signes évidents de formation stellaire. L'étoile «centrale», dont nous venons de parler, responsable de l'ionisation de la nébuleuse, fait partie d'un système comprenant sept étoiles du même type dans un rayon de vingt secondes d'arc. La perte de masse de cette étoile centrale est estimée à $2 \cdot 10^{-6}$ masses solaires par an et son vent stellaire atteint une vitesse de l'ordre de 1500 km/s. Des mesures dans le domaine radio semblent montrer que l'étoile centrale photo-ionise l'enveloppe des étoiles froides qui l'entourent. D'autre part, on a mis en évidence des régions sombres qui suggèrent l'existence de matière interstellaire froide et dense à l'intérieur de la zone H II, atténuant la radiation UV de l'étoile centrale. Des mesures radio indiquent aussi l'existence, sur une échelle, de dizaines de minutes d'arc, de résidus d'une supernova, ce qui laisse supposer qu'une ou des étoiles super massives ont déjà parcouru un cycle complet de la naissance à la mort.

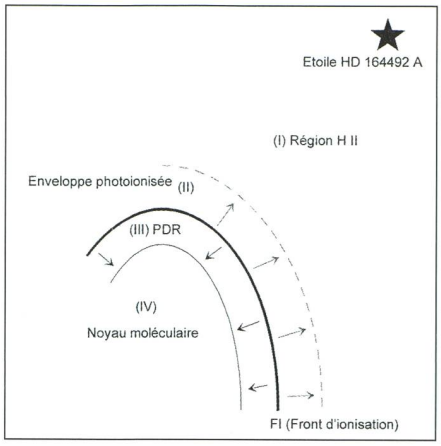


Fig. 12. Représentation schématique de la région TC2. I) La région ionisée entre l'étoile centrale HD 164492 A et le globule. II) Le front d'ionisation FI et l'enveloppe en expansion de gaz photo-ionisés autour du globule. III) Région où le rayonnement ultraviolet lointain produit une zone dominée par photodissociation. Un front de choc, engendré par le surpression sur la surface du front d'ionisation se propage à l'intérieur du noyau moléculaire.

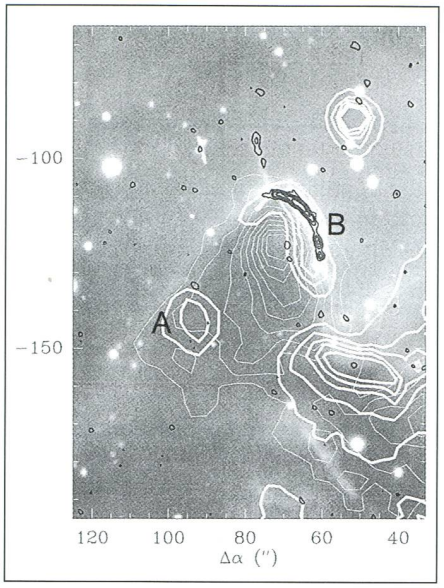


Fig. 13. Superposition, sur la région du globule, de trois séries de courbes de niveau. En blanc fin: l'émission thermique des poussières à la longueur d'onde de 1.25 mm, en blanc épais: l'émission infrarouge à 8-15 mm et en noir: l'émission à 3.6 cm.

La compréhension profonde de ce type de région passe par une étude complète, sur une étendue aussi large que possible, du spectre de la lumière. Le visible, l'infrarouge proche ou lointain, les rayons X et les ondes radio sont de puissants moyens pour l'investigation des mécanismes en jeu dans la formation des étoiles. Ainsi, par exemple, les rayons X permettent d'identifier les processus suivants:

- l'échauffement magnétique de la couronne d'étoiles du type précoce,
- l'échauffement magnétique, l'accrétion ou l'éjection de matière dans les protoétoiles,
- la collision de vents stellaires dans les binaires massives,
- l'échange de masse dans les binaires serrées de faible masse.

Une étude approfondie effectuée en 2003 à l'aide du satellite ROSAT a permis de découvrir une multitude de sources de rayons X, que les auteurs identifient, après analyse de données infrarouges, avec des protoétoiles. Dans le spectre de rayons X, ils détectent aussi une «composante» chaude[7] qui laisse supposer que l'étoile centrale possède un compagnon[8] ou que son vent stellaire interagit avec une zone dense du nuage moléculaire. Cette hypothèse est renforcée par les résultats obtenus en 2001 lors d'une exploration dans l'infrarouge proche, de cette même région, qui identifie dans le voisinage de HD 164492 trois sources qui peuvent être soit des étoiles soit des nœuds ionisés.

FABIO BARBLAN
Route de l'Etraz 6a, CH-1239 Collex/GE

Bibliographie

MALIN D., *A view of the universe*, Cambridge University Press, 1993
TENORIO-TAGLE G. éditeur, *Violent star formation*, Cambridge University Press, 1994
Orion:
DOPITA M. A., *Photoelectric photometry of gaseous nebulae*: the temperature and ionisation structure of the Orion nebula, A&A, 29, 387, 1973
MASSEY R. M. ET AL. , *Extensive, high-speed gas around the Trapezium cluster of the Orion nebula (M42, NGC 1976)*, MNRAS, 262, L48, 1993
QIAN Z. Y. ET AL. , *A near-infrared photometic study of the young Orion nebula star cluster NGC 1976*, MNRAS, 266, 114, 1994
MASSEY R. M. ET AL. , *The high-speed phenomena of the Orion nebula –IV* . Velocity imaging and spectroscopy, MNRAS, 273, 615, 1995
FUENTE A. ET AL. , *Chemistry in the high density molecular interface surrounding the Orion nebula*, A&A, 312, 599, 1996
SUBRAHMANYAN R. ET AL. , *Radio continuum structure of the Orion nebula*, Astron. Journal, 121, 399, 2001
Tridfide:
LEFLOCH B. ET AL. , *Massive star-formation in the Trifid nebula*, The universe as seen by ISO , 497, 1998
KOHOUTEK L. ET AL. , *Photometry and spectroscopy of the central star of the Trifid nebula*, A&A Supp. 134, 129, 1999
YSEF-ZADEH F. ET AL. , *Radio continuum emission from the central stars of M20, and the detection of a new supernova remnant near M20*, AJ, 540, 842, 2000
LEFLOCH B. ET AL. , *Pre-Orion cores in the Trifid nebula*, AJ, 545, 340, 2000
RHO J. ET AL. , *X-rays and protostars in the Trifid nebula*, AJ, 562, 446, 2001
LEFLOCH B. ET AL. , *Disks around hot stars in the Trifid nebula*, A&A, 368, L13, 2001
LEFLOCH B. ET AL. , *The photoionization of star-forming core in the Trifid nebula*, AJ, 581, 335, 2002

[7] Les rayons X de différente énergie sont associés avec des mécanismes de production différents.

[8] Les vents stellaires de deux étoiles de type O peuvent interagir et échauffer le gaz jusqu'à des températures de l'ordre de 10 à 100 millions de degrés avec émission de rayons X.