De l'*Espace* pour la *Terre*

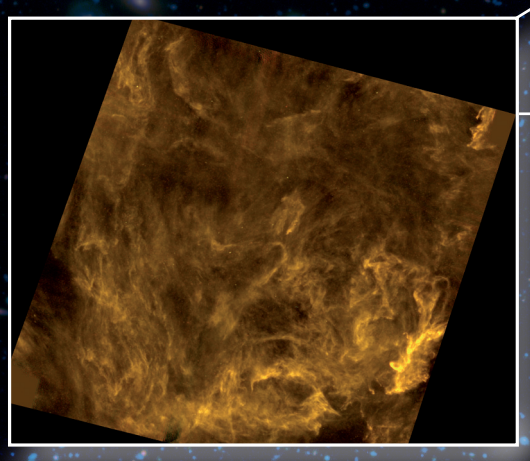
MILIEU INTERSTELLAIRE

LE MILIEU INTERSTELLAIRE, LE RÉSERVOIR DES FUTURES ÉTOILES

Comment fabrique-t-on une étoile à partir d'un nuage de gaz quasiment vide ? 200 milliards d'étoiles peuplent notre Galaxie. Mais l'essentiel demeure invisible à nos yeux. Entre ces étoiles, l'espace n'est pas vide mais rempli de gaz et de poussière, c'est le milieu interstellaire, le réservoir des futures étoiles.

Le milieu interstellaire de la Voie Lactée

Les zones sombres de la Voie Lactée ne sont pas vides. C'est le milieu interstellaire qui contient 99% de gaz et 1% de poussière. La poussière est le terme en astronomie pour les solides de petites tailles. Les grains solides dans l'espace sont composés d'éléments très courants : des silicates (sable) et du carbone (diamant, graphite ou carbone amorphe). Cette petite fraction de grains solides est très importante parce que la poussière absorbe la lumière des étoiles et la rediffuse dans l'infrarouge, une lumière invisible à nos yeux. Herschel est sensible à cette lumière.

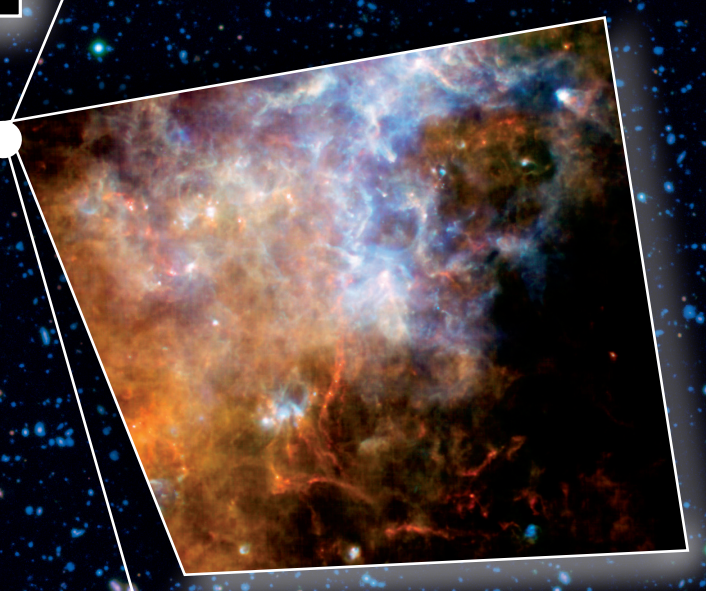


La structure du milieu interstellaire dans un nuage sans étoile

Dans le nuage de Polaris distant de 500 années-lumière, Herschel permet de révéler pour la première fois la structure de la matière interstellaire à petite échelle avant qu'elle donne naissance à des étoiles. On y voit une grande variété de structures spectaculaires, allant de réseaux de filaments bien organisés à des motifs d'apparence totalement chaotique. Cela illustre les processus physiques complexes qui se déroulent dans le milieu interstellaire des galaxies avant que des nouvelles étoiles ne se forment.
Crédit : ESA/Herschel/Programmes GoultBelt et Evolution of interstellar dust

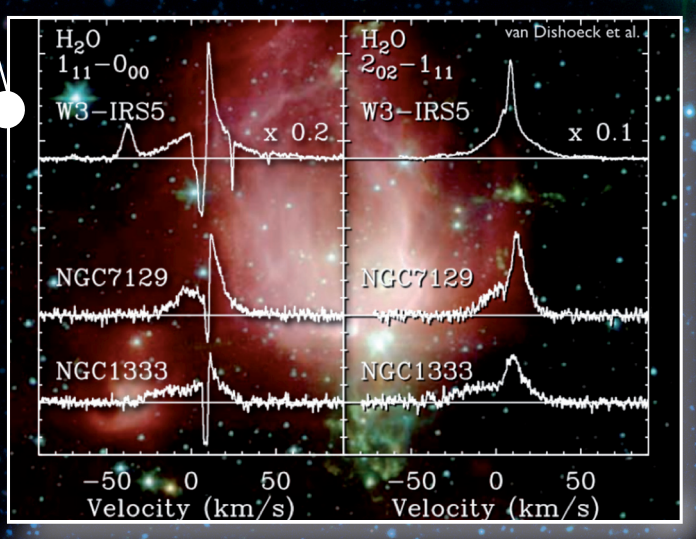
Un nuage de gaz interstellaire dans la Croix du Sud

La naissance des étoiles commence dans des nuages de gaz, surtout de l'hydrogène et du monoxyde de carbone, et puis de nombreuses autres molécules dont la vapeur d'eau. L'image montre la texture de ces nuages de gaz mélangé à de la poussière dans notre galaxie. Cette image combine les images en direction de la constellation de la Croix du Sud prises dans 5 filtres infrarouges des instruments PACS et SPIRE. Codée du rouge au bleu pour faciliter la compréhension, la lumière infrarouge submillimétrique met en évidence avec une très grande précision le réservoir de gaz froid jusqu'à -260°C (en rouge) des zones plus « chaudes » à environ -220°C (en bleu).
Crédit : ESA/Herschel/Consortia PACS et SPIRE



De l'eau partout

L'eau sous forme de vapeur est un gaz essentiel dans le milieu interstellaire car il régule sa température. Herschel a spécialement été construit pour détecter l'eau interstellaire. Les gaz signalent leur présence par une signature électronique qu'on appelle une raie spectrale à une fréquence propre à la nature de la molécule. Ici on voit les raies spectrales de la vapeur d'eau dans plusieurs régions de formation d'étoiles. Plus le signal est intense, plus la région forme des étoiles massives.
Crédit : ESA/Herschel/Programme WISH



Conception : Exobanque 06 71 06 88 32 - Crédit : ESO

5P-B-ETOILE-2.indd 1 2/05/11 15:18

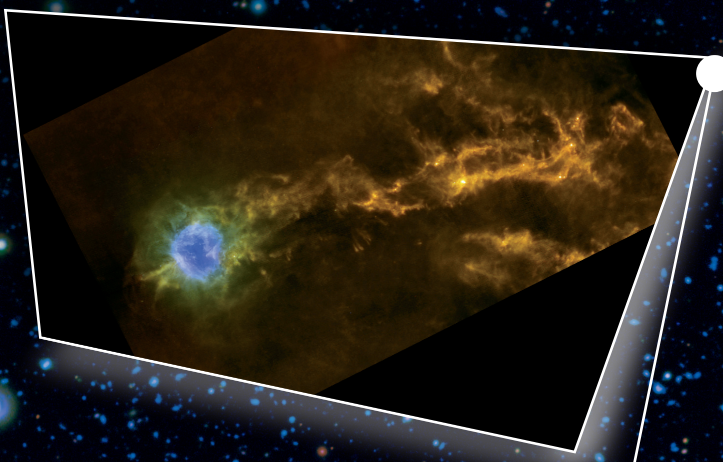
cnes

De l'*Espace* pour la *Terre*

LES FILAMENTS INTERSTELLAIRES

LES RÉSEAUX DE FILAMENTS INTERSTELLAIRES

Apparemment immuables et éternelles, les étoiles ont pourtant une vie. Tout commence dans des nuages de gaz, et en particulier dans les réseaux de filaments du milieu interstellaire. Ce gaz remplit les galaxies et sert de réservoir de matériau pour la fabrication des étoiles.

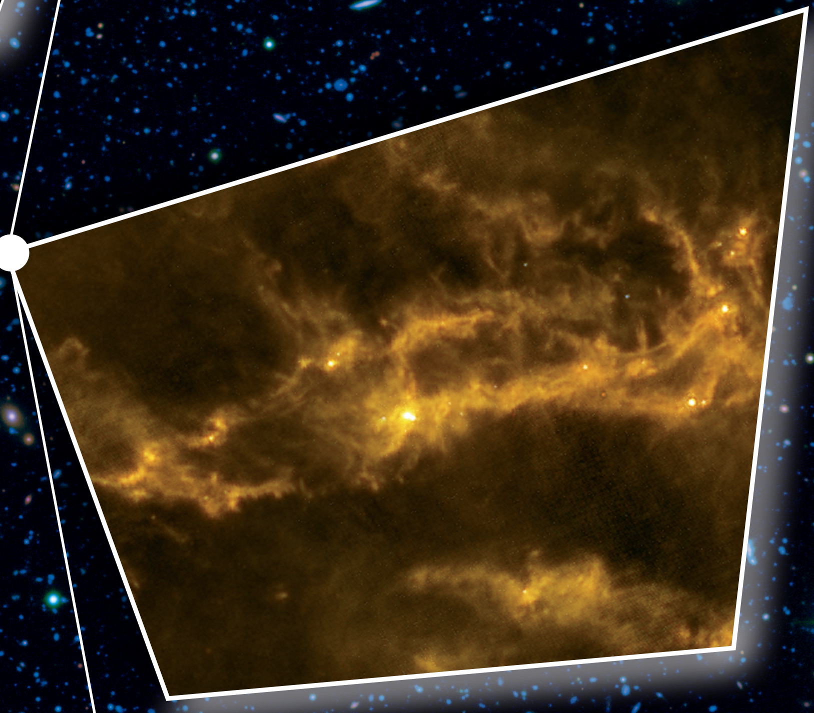


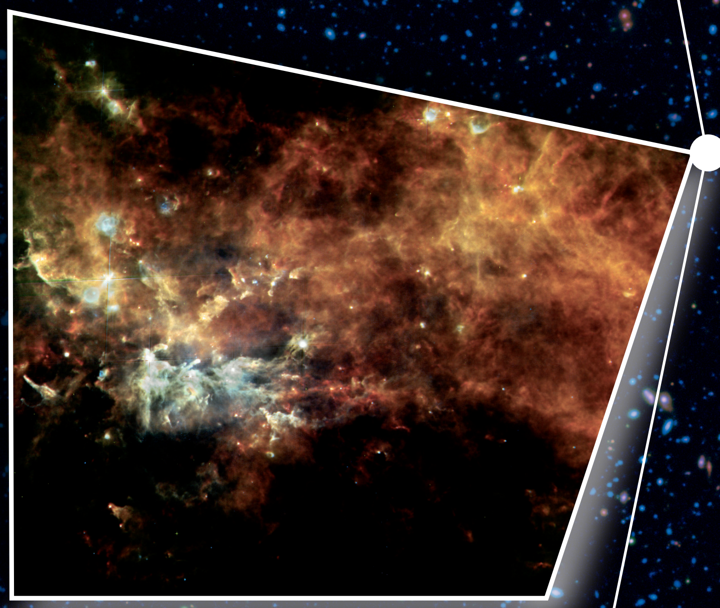
Herschel dénoue les filaments interstellaires

Les nuages interstellaires possèdent des réseaux de filaments de gaz et de poussière. Sur cette image prise par Herschel du nuage IC5146, la zone bleue est une nébuleuse éclairée par une étoile massive, plus chaude que le reste du réseau complexe de filaments. Chaque filament peut s'étendre sur des dizaines d'années-lumière dans l'espace mais ils ont tous la même largeur : 0,3 années-lumière, correspondant à environ 20 000 fois la distance de la Terre au Soleil.
Crédit : ESA/Herschel/Programme Gould Belt

Zoom sur les filaments interstellaires

La comparaison des observations avec des modèles théoriques laisse penser que les filaments résulteraient de ce qu'on appelle la turbulence interstellaire. Celle-ci correspond à des mouvements désordonnés de gaz se propageant dans les nuages interstellaires. Ces mouvements turbulents feraient suite aux explosions d'étoiles massives - ou supernovae. Ces mouvements de gaz désordonnés ont lieu à des vitesses supersoniques. A l'image du 'bang' d'un avion passant le mur du son, ils produiraient donc des chocs qui compriment la matière interstellaire, jusqu'à transformer celle-ci en des filaments plus denses que leur milieu environnant.
Crédit : ESA/Herschel/Programme Gould Belt



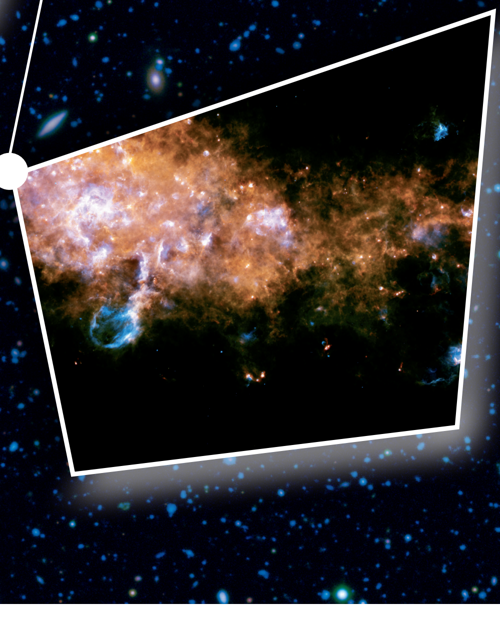


A plus grande échelle dans la Voie Lactée

Image à plus grande échelle du milieu interstellaire de la Voie Lactée dans la Constellation du Petit Renard (Vulpecula). Lorsqu'on observe ces nuages interstellaires à grande échelle, les vitesses de turbulence sont élevées, supersoniques. En revanche, si on cible les observations sur de petites régions interstellaires, les vitesses sont plus faibles, jusqu'à devenir inférieures au mur du son. La largeur observée des filaments correspondrait à l'échelle intermédiaire où les mouvements sont proches de la vitesse du son. C'est un indice très fort quant à la connexion entre la turbulence interstellaire et l'origine des filaments vus par Herschel.
Crédit : ESA/Herschel/Programme Hi-GAL

Filaments et naissance d'étoiles

Les filaments se distinguent par leur masse. Les plus massifs, ceux qui pèsent plus de 15 fois la masse du Soleil sur une longueur de 3 années-lumière vont s'effondrer sous leur propre poids grâce à la gravité. C'est ce qui se passe dans la Constellation de l'Aigle.
Crédit : ESA/Herschel/Programme Hi-GAL



Conception bigbang 06 71 06 83 32 • Crédit : ESO

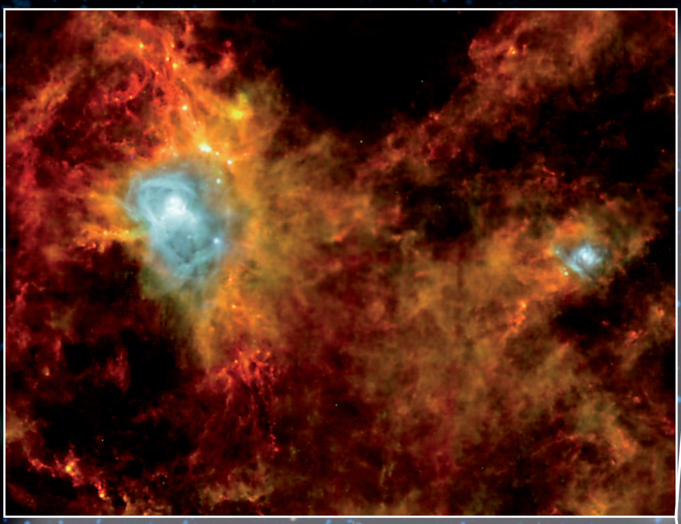
5P-B-ETOILE-2.indd 2 2/05/11 15:19

De l'Espace pour la Terre

L'ENVIRONNEMENT DE LA NAISSANCE DES ÉTOILES

DU QUASI VIDE À DES SOLEILS PAR CENTAINES

L'environnement d'un nuage de gaz interstellaire n'apparaît pas vraiment comme un lieu propice à la naissance des étoiles. La température est inférieure à -240°C et la densité y est très faible, similaire à celle obtenue dans ce qui est considéré comme un vide en laboratoire sur Terre.

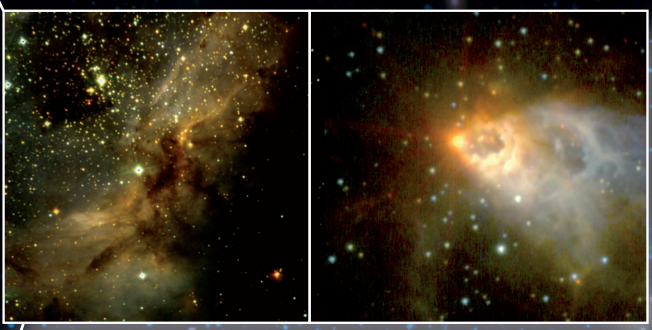


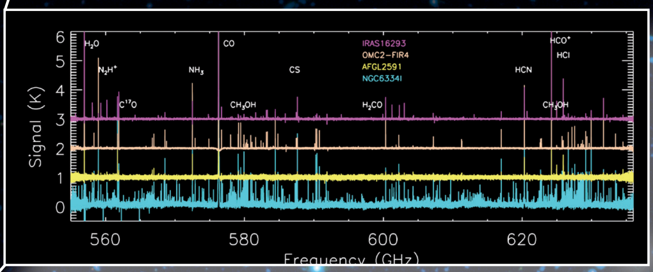
Les maternités de Soleils

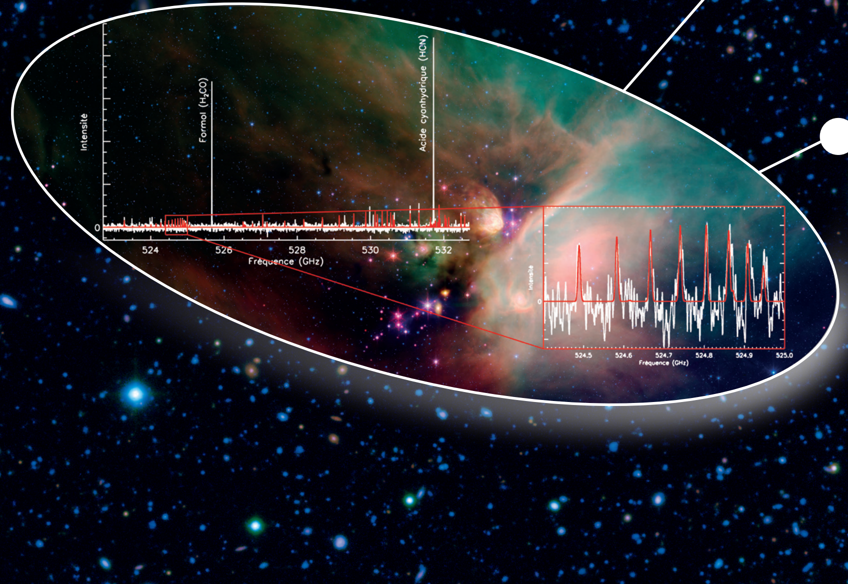
Aquila, dans la Constellation de l'Aigle, donne naissance à des centaines d'étoiles, la plupart ressembleront à notre soleil. La taille de l'image est de 60 années-lumière de côté. L'image est codée en couleurs visibles du bleu au rouge en fonction de l'intensité lumineuse prise dans trois filtres infrarouge du télescope Herschel. Les deux bulles bleues sont des régions dans lesquelles des étoiles massives chauffent fortement la poussière. Le bleu indique ainsi du gaz à une température supérieure (-200°C) à celle des zones rougeâtres plus froides (-250°C). De nombreux embryons d'étoiles, des petits points rouges, sont visibles dans les filaments qui entourent la bulle bleue de gauche. Cette bulle est gonflée par le rayonnement ultraviolet d'étoiles massives.
Crédit : ESA /Herschel/Programme Gould Belt

La chimie des régions de formation d'étoiles dans la Voie Lactée

Quand les étoiles se forment, la matière qui les constitue subit d'énormes transformations. Au début, la matière est simplement du gaz diffus dans des nuages répandus dans la Voie Lactée. Sous sa propre attraction gravitationnelle, le gaz s'accumule vers le centre du nuage en formant des grumeaux à partir desquels se forment les étoiles. En même temps que le gaz se concentre vers le centre, les atomes se combinent en formant progressivement des molécules plus complexes. La composition du gaz offre donc une vision du « progrès » de la formation stellaire.
Les embryons étoiles, dites « proto-étoiles », restent cachées dans ces enveloppes de gaz, sorte de « placentas » dont les proto-étoiles enfouies se « nourrissent » pour former l'étoile finale.
Les spectres mettent en valeur des raies dûes aux molécules présentes dans le gaz enveloppant les différentes proto-étoiles. Les spectres observés par Herschel permettent une classification des proto-étoiles.
Le spectre de AFGL2591 est celui d'une proto-étoile dans la constellation du Cygne, dont la luminosité est vingt mille fois celle du Soleil.
Le spectre OMC2-FIR4 est celui d'une proto-étoile dans la nébuleuse d'Orion avec une luminosité mille fois celle du Soleil.
Tous les spectres mettent en évidence des molécules qu'il n'est pas facile de synthétiser en laboratoire, comme le cation formyl (HCO^+), ou le cation chloronium (H_2Cl^+) qui n'avait jamais été observé dans l'espace auparavant.
On remarque aussi des milliers de raies émises par des molécules organiques, comme le méthanol (CH_3OH), dans les gaz très chauds autour des proto-étoiles plus lumineuses…
Crédit ESA/Herschel/Programme CHESS







La chimie de la naissance des étoiles

Dans le nuage de Rho Ophiucus, près d'Antarès de la Constellation du Scorpion, les signatures de toutes les espèces chimiques présentes sont relevées simultanément et mélangées dans un spectre unique. On retrouve par exemple la signature du méthanol dans l'environnement d'embryons de soleil, un fait important étant donné que cette molécule peut réagir avec d'autres espèces afin de former des briques élémentaires du vivant.
Crédit ESA/Herschel/Programme CHESS

Conception bigbang 06 71 06 83 32 · Crédit : ESO

cnes De l'Espace pour la Terre

cnrs · cea

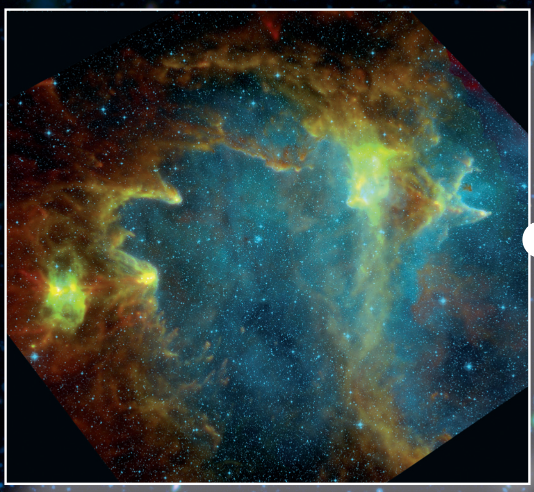
LES ÉTOILES MASSIVES

LA NAISSANCE DES ÉTOILES MASSIVES

Les étoiles géantes ou massives (plus de 8 fois plus massives que le Soleil) naissent dans des nuages moléculaires. Elles prennent forme au sein de cœurs denses très froids qui se contractent sous l'effet de la gravitation comme les autres étoiles moins grosses. Quelques doutes existent néanmoins sur la ressemblance entre les mécanismes à l'origine de la formation de soleils et ceux conduisant à la naissance d'une étoile massive.

L'écrin de poussière des étoiles massives

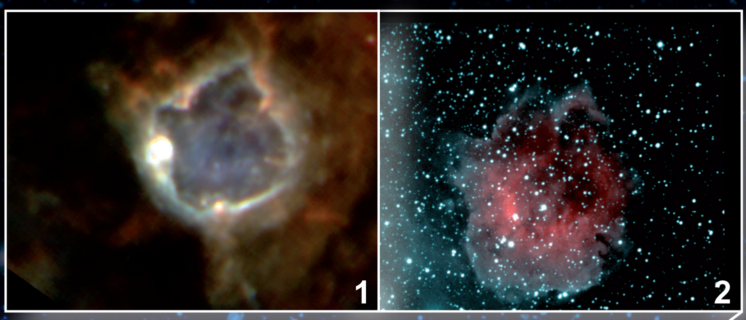
Sur l'image de la nébuleuse de la Rosette prise par Herschel dans trois filtres infrarouges, chaque couleur correspond à une température, du bleu au rouge, pour aller de -230 à -260°C environ. A droite de l'image, une cavité très sombre correspond à un amas d'étoiles géantes qui illuminent en ultraviolet les nuages de gaz environnant. On ne voit pas ces étoiles car Herschel ne voit pas la lumière ultraviolette ni les étoiles. Par contre, Herschel nous révèle des cocons plus lumineux au centre de l'image. Ce sont des cocons de poussière chauffée par des étoiles massives encore enfouies. Un œil plus expert pourra discerner une grappe de petits points rougeâtres au centre haut: il s'agit de soleils entrain de naitre aux cotés de leurs grandes sœurs géantes.
Crédit : ESA/Herschel/Programme HOBYS



W5-E

Les étoiles massives ionisent le milieu qui les environne, formant des régions d'hydrogène ionisé (ou régions HII=H+). Due à la grande différence de température entre l'intérieur et l'extérieur de la région ionisée, ces régions HII sont en expansion à une vitesse supersonique. Une couche de matériau neutre est collectée pendant cette expansion. Cette couche devient instable et s'effondre sous son propre poids formant des fragments massifs qui sont des sites potentiels de formation d'étoiles massives.

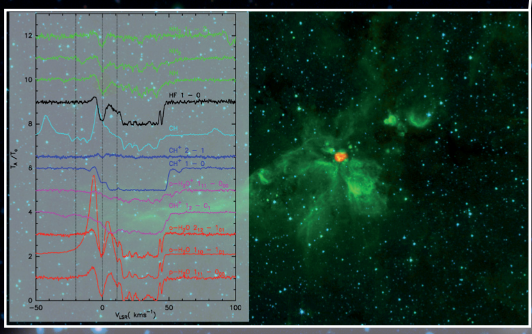
W5-E est une région distante de 6 500 années-lumière (diamètre de l'ordre de 65 al), ionisée par une étoile massive située en son centre. L'émission du gaz ionisé apparait en bleu. Des condensations pré-stellaires et des objets protostellaires sont aussi détectés par Herschel en bordure du gaz ionisé.
Crédit : ESA/Herschel/Programme HOBYS



SH 104

[image 1] Cette région où sont nées des étoiles massives est située à 13 000 années-lumière. Dans le domaine de la lumière visible, on y voit une bulle de gaz entourant l'étoile massive au centre de la région qui est responsable de la dilatation du gaz ionisé à l'intérieur de la bulle.

[image 2] L'image produite par Herschel montre l'émission des poussières associées au gaz ionisé.
Le rouge est le rayonnement des poussières froides (-260°C).
Le vert représente celui de poussière moins froide et enfin le bleu trace les poussières un peu plus chaudes (-240°C) au contact du gaz ionisé. La région d'hydrogène ionisé centrale a favorisé l'accumulation de matière moléculaire dense formant une coquille de 6 000 masses solaires à la périphérie du gaz ionisé. Une seconde génération d'étoiles se forme dans cette coquille.
Crédit ESA/Herschel/Programme HOBYS



La chimie de la naissance des étoiles massives

Grâce à Herschel et à son spectromètre HIFI, la composition du gaz interstellaire est finement mesurée. Un grand nombre de molécules sont étudiées : des hydrures et des agrégats carbonés. Les hydrures sont composées à partir des éléments H (Hydrogène), D (Deutérium), C (Carbone), N (Azote), O (Oxygène), F (Fluor) et Cl (Chlore). L'image présente des exemples de spectres pris par HIFI/Herschel dans la direction de la région W31C (représentée en arrière plan), pour des molécules et ions moléculaires composée d'hydrogène et d'un autre élément chimique. Les spectres d'absorption sont représentés en fonction de la vitesse du milieu dans le référentiel galactique. Les espèces ont été choisies pour leur relative simplicité - leur assemblage nécessite un petit nombre de réactions chimiques - et pour la qualité des informations que leur détection apporte. Ces signaux sont de plus exploitables uniquement par le satellite Herschel car totalement absorbés par l'atmosphère terrestre. Ils éclairent la synthèse des premières molécules dans le gaz interstellaire, étape essentielle vers la formation des cœurs denses et froids où naissent les étoiles.
Crédit : ESA/Herschel/Programme PRISMAS

Conception bigbang 06 71 06 83 32 · Crédit : ESO

CESR · iram · IAS · AIM · LAB · LAM Laboratoire d'Astrophysique de Marseille · IPAG Institut de Planétologie et d'Astrophysique de Grenoble · l'Observatoire de Paris LERMA Laboratoire d'Étude du Rayonnement et de la Matière en Astrophysique · Institut d'Astrophysique de Paris Unité mixte de recherche 7095 CNRS - Université Pierre et Marie Curie · l'Observatoire de Paris LESIA Laboratoire d'Études Spatiales et d'Instrumentation en Astrophysique

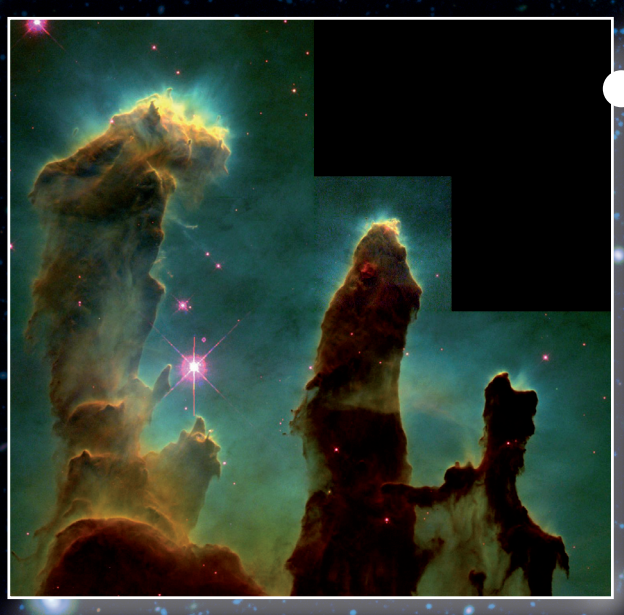
5P-B-ETOILE-2.indd 4 2/05/11 15:19

De l'*Espace* pour la *Terre*

VERS UNE NOUVELLE GÉNÉRATION D'ÉTOILES

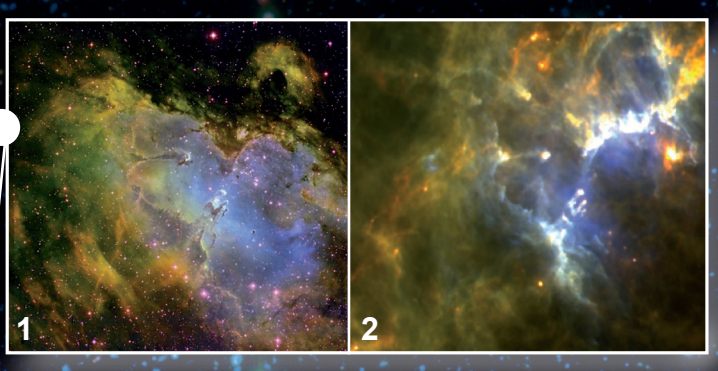
AMAS D'ÉTOILES ET INTERACTION

Les étoiles massives, une fois formées, émettent un fort flux de rayonnement UV. Ce rayonnement a la capacité de remodeler le milieu interstellaire et de déclencher la naissance de nouvelles étoiles.

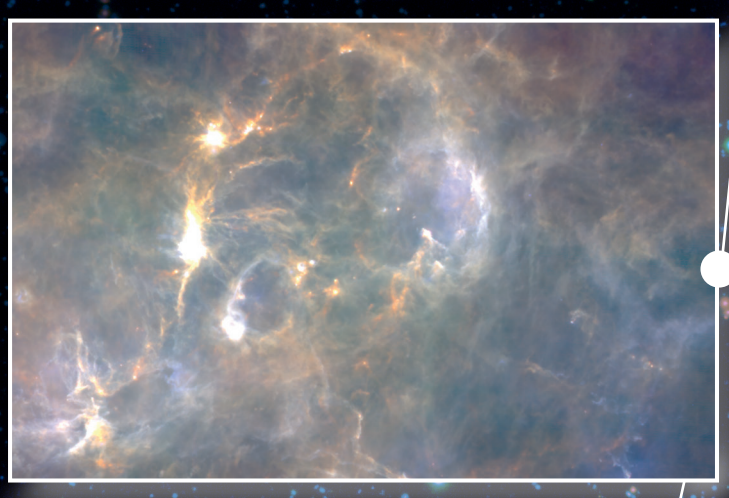


Les « piliers de la création » décodés

Image des fameux « piliers de la création » vus dans le domaine visible. Ce sont des colonnes de gaz de quelques dizaines d'années-lumière en longueur qui sont sculptés et illuminés par un amas d'étoiles géantes au centre. Les couleurs correspondent aux gaz atomiques (oxygène en bleu, hydrogène en vert, soufre en rouge). Ces piliers ne représentent en réalité que de petites structures à l'échelle de cette nébuleuse de près de 100 années-lumière en largeur.
Crédits : ESA/NASA

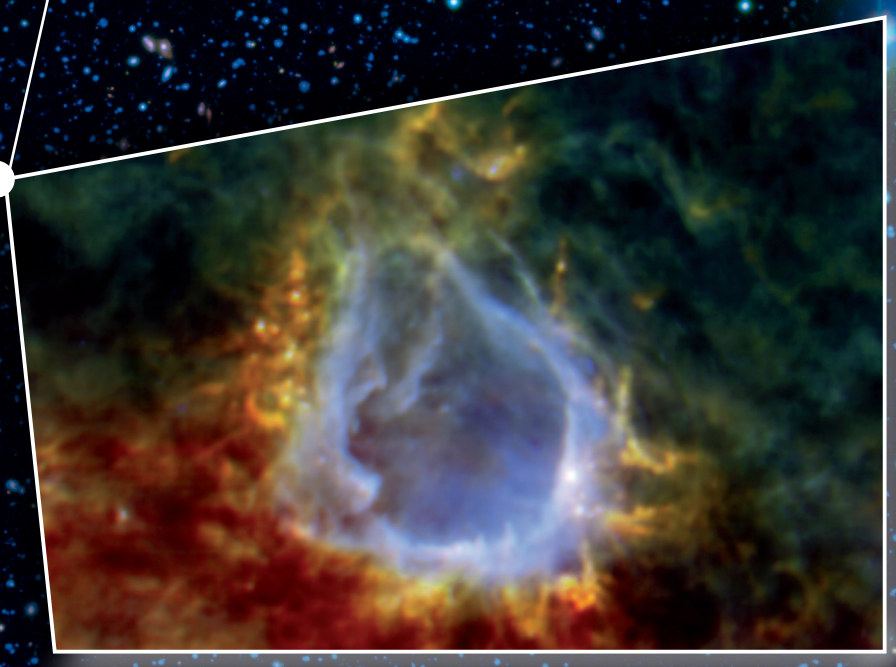


Les « piliers de la création » vus par Hubble (image 1) et par Herschel (image 2) en infrarouge submillimétrique. Les couleurs utilisées correspondent à la température de la matière interstellaire (rouge pour environ -260°C, bleu pour environ -220°C). Certaines zones sombres sur l'image « visible » sont détectées par Herschel qui voit à travers les couches de gaz, jusqu'aux couches de poussière chauffées par l'amas d,étoile. Les couches sombres correspondent à l'enveloppe extérieure d'une coquille de gaz.
Crédits : ESA/Herschel/Programme HOBYS



Naissance multiple d'étoiles massives

L'image (CygnusX-1) montre une composition colorée des émission à 70, 160, et 250 µm vers la région de formation d'étoiles au nord de Cygnus X. Cygnus X accueille un certain nombre de régions HII en forme de bulles visibles principalement à 70 µm (bleu) dû à l'émission de la poussière réchauffée. Plusieurs associations d'étoiles géantes irradient les structures moléculaires de poussières et forment des structures en forme de pilier pointant vers l'intérieur des cavités (image CygnusX-2). D'autres étoiles jeunes de masse importante très lumineuses sont également visibles, par exemple DR21, DR21 (OH), et W75N qui se trouvent au nord le long de l'arête DR21. Les blocs les plus massifs sont de futurs lieux de naissance d'amas d'étoiles géantes.
Crédits : ESA/Herschel/Programme HOBYS



Nouvelles étoiles en bord de bulle

Le rayonnement UV des étoiles massives a la capacité d'ioniser l'hydrogène (séparer l'électron du proton). Se forme alors autour des étoiles massives une région d'hydrogène ionisé comme sur l'image ci-contre. Ce plasma est très chaud (~10 000 °C) et l'environnement étant très froid (entre -260 °C et -170 °C), ces régions vont être en expansion. Cette expansion qui s'effectue à une vitesse supersonique va conduire à la formation d'une couche constituée de gaz neutre et de poussières qui va s'effondrer sous son propre poids pour former des étoiles, certaines massives comme sur cette image de RCW120.
Crédit : ESA/Herschel/Programme HOBYS

Conception : bigbang 06 71 06 83 32 - Crédit : ESO