

DOSSIER DE PRESSE



L'observatoire spatial Herschel : enjeux et contribution du CEA

Lundi 23 mars 2009

CONTACTS PRESSE : CEA / Service Information-Media

Damien LARROQUE Tél. : 01 64 50 20 97 - damien.larroque@cea.fr

Delphine NICOLAS Tél. : 01 64 50 14 88 - delphine.nicolas@cea.fr

CEA Saclay / Siège
Direction de la Communication
Service Information-Média
91191 Gif-sur-Yvette Cedex
Tél. : (33) 01 64 50 20 11
Fax : (33) 01 64 50 28 92
www.cea.fr/presse

Sommaire :

L'observatoire spatial Herschel : enjeux et contribution du CEA

3 Le programme Herschel

- 3 Le satellite Herschel
- 4 La lumière infrarouge
- 6 L'astronomie dans l'infrarouge submillimétrique

7 Les contributions du CEA à Herschel

- 7 Les instruments d'Herschel
- 8 Les bolomètres
- 8 La caméra de PACS
- 9 Les cryoréfrigérateurs
- 10 Le brevet BraSiC®

11 La participation du CEA aux programmes de recherche

- 11 Programmes clés en temps garanti
- 11 Programmes clés en temps ouvert

12 Naissance, vie et mort des étoiles

- 12 La naissance des étoiles
- 13 L'étude de la formation stellaire
- 14 De la formation stellaire aux grandes fratries d'étoiles
- 15 Que va apporter Herschel dans l'analyse de la formation stellaire ?

16 L'évolution des galaxies

- 16 Les différentes formes de galaxies
- 17 La poussière, composante essentielle du milieu interstellaire des galaxies
- 18 Qu'allons-nous déduire avec Herschel ?

Pour plus d'informations, rendez-vous sur <http://herschel.cea.fr/>

Pour télécharger des vidéos, suivre les liens :

<http://herschel.cea.fr/fr/galerie/videos/hd/HERSCHEL-SAUVAGE-DVPAL.mov>

<http://herschel.cea.fr/fr/galerie/videos/hd/HERSCHEL-observatoire-spatial.mp4>

http://herschel.cea.fr/fr/galerie/podcasts/367_univers_herschelCEA_2.mp3

Le programme Herschel

Le satellite Herschel

Avec ces 3,5 mètres de diamètre, Herschel est le plus grand télescope spatial jamais conçu pour l'astronomie. Baptisé ainsi en hommage au physicien William Herschel qui découvrit l'infrarouge en 1800, il observera le rayonnement infrarouge et submillimétrique de l'univers. Une fois en orbite – il sera lancé par Ariane 5 courant 2009 -, il ouvrira une nouvelle fenêtre d'observation sur l'univers et s'attaquera aux mystères de la naissance des étoiles et de l'évolution des galaxies.

Instrumentation

Trois instruments sont embarqués à bord d'Herschel :

- HIFI (Heterodyne Instrument for the Far-Infrared), un spectromètre¹ à haute résolution dédié à l'étude de la chimie de l'Univers,
- PACS (Photodetector Array Camera and spectrometer), une caméra de bolomètres² et un spectromètre à photoconducteurs pour cartographier l'émission infrarouge des grains de poussière,
- SPIRE (Spectral and Photometric Imaging Receiver), qui remplit les mêmes fonctions que PACS mais à de plus grandes longueurs d'onde, dans l'infrarouge submillimétrique.



Herschel en quelques chiffres :

Diamètre du miroir :	3,5 mètres
Durée de vie :	3,5 ans
Masse au lancement :	3 300 Kg
Dimensions :	7,5m x 4m x 4m
Température du télescope :	70-90 K

¹ Un spectromètre est un appareil de mesure permettant de décomposer une quantité observée — un faisceau lumineux en spectroscopie, ou bien un mélange de molécules par exemple en spectrométrie de masse — en ses éléments simples qui constituent son spectre.

² Un bolomètre (du grec bolè : radiation et metron : mesure) est un détecteur développé par Samuel Pierpont Langley en 1878 afin d'étudier le rayonnement électromagnétique solaire. Son principe est simple : il convertit l'énergie du rayonnement électromagnétique incident en chaleur au sein de l'absorbeur. Ce dernier est (ou est lié à) un thermomètre dont les propriétés électriques ou magnétiques dépendent de la température, on peut ainsi mesurer les variations d'impédance du détecteur, et donc l'énergie électromagnétique incidente. Les bolomètres peuvent couvrir l'intégralité du spectre électromagnétique. Cependant, les technologies mises en œuvre spécialisent chaque type de bolomètre à un domaine de longueur d'onde défini et à une utilisation particulière.

Mission scientifique

Prévu pour une mission de trois ans, Herschel s'est fixé deux objectifs principaux reliés à la question des origines de l'Univers :

- Dans le milieu proche, il sondera les nuages moléculaires, véritables « nurseries » de jeunes étoiles, pour identifier les premiers stades de la formation stellaire et tenter d'expliquer pourquoi toutes les étoiles ne naissent pas avec la même masse ;
- Dans l'univers lointain, il scrutera des champs profonds pour y relever les populations de galaxies à l'époque de leur formation, apportant ainsi des éléments cruciaux pour tenter d'établir un scénario d'évolution de l'Univers, de la formation des premières structures à nos jours.

La lumière infrarouge

La notion de lumière ne s'arrête pas aux couleurs visibles par l'œil humain, c'est-à-dire à celles de l'arc-en-ciel, mais s'étend à toutes les longueurs d'onde du spectre électromagnétique. Ainsi, pour les physiciens, les termes rayons gamma, rayons X, infrarouge, ondes radio et micro-ondes décrivent en réalité des lumières invisibles.

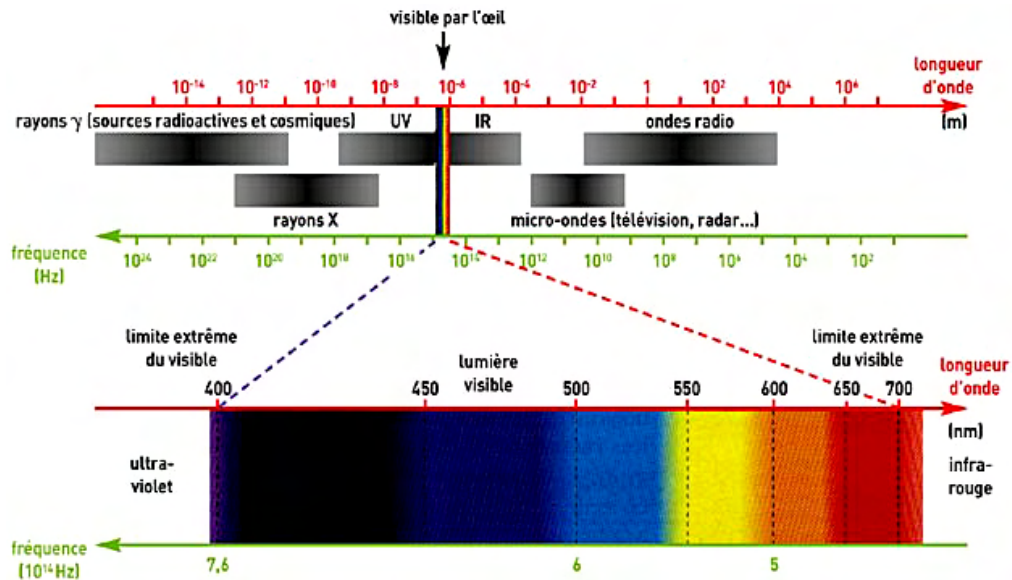
Les différentes lumières

Toutes ces ondes lumineuses voyagent à la vitesse de la lumière soit 300 millions de mètres par seconde. La différence entre ces différentes lumières ou rayonnements électromagnétiques est leur longueur d'onde, c'est-à-dire l'énergie qu'elles transportent.

Les rayons gamma ont les longueurs d'onde les plus courtes et sont les plus énergétiques.

À l'inverse, les ondes radio (celles de la radio FM) ont des grandes longueurs d'onde et sont faiblement énergétiques.

En clair, l'énergie transportée par ces lumières décroît en intensité des rayons gamma aux ondes radio. Dans le domaine visible, cela signifie que plus une lumière est rouge, moins elle émet d'énergie. C'est le cas de la lumière d'une flamme. Sa couleur passera du rouge au jaune puis au bleu... en montant en température. Une correspondance existe ainsi entre la température du corps émettant de la lumière et la couleur de cette lumière.



L'ensemble des lumières des rayons gamma aux ondes radio constitue le spectre électromagnétique.

La lumière infrarouge et le spectre électromagnétique

Dans le spectre électromagnétique, la lumière infrarouge se situe entre la lumière visible et les micro-ondes émises par nos téléphones portables. Domaine très vaste en énergie, la lumière infrarouge est ainsi la signature de corps ayant une température entre -270°C et 1500°C . Ainsi, contrairement au Soleil qui, avec 6000°C à sa surface, rayonne principalement dans le visible (avec un pic dans le jaune), le corps humain à 37°C , la Terre à 20°C et le sable chaud de la plage rayonnent principalement dans l'infrarouge.

L'infrarouge en quelques chiffres :

Vitesse de la lumière :

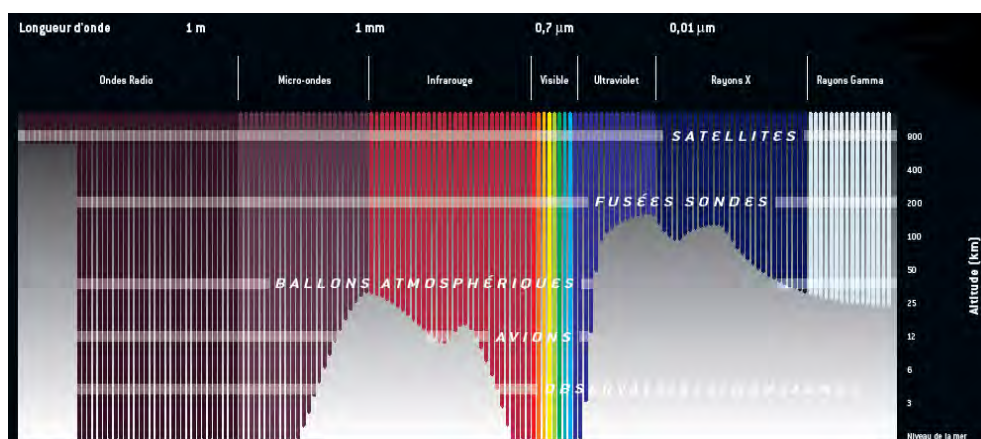
- 300 millions de m/s
- 300 000 km/s
- 1 milliard de km/h

L'infrarouge pour les astronomes :

- L'infrarouge proche de $0,7$ à $5 \mu\text{m}$
- L'infrarouge moyen de 5 à $30 \mu\text{m}$
- L'infrarouge lointain de 40 à $100 \mu\text{m}$
- L'infrarouge submillimétrique de 100 à $870 \mu\text{m}$

L'astronomie dans l'infrarouge submillimétrique

Il s'agit d'un domaine quasi inexploré du spectre électromagnétique. En effet, la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère absorbe une grande partie du rayonnement dans la gamme allant de 20 à 400 micromètres - empêchant les observations à partir du sol - et les missions spatiales infrarouges précédentes n'ont pas dépassé la longueur d'onde de 200 micromètres. Non seulement Herschel va permettre aux astronomes d'accéder à des longueurs d'ondes méconnues, mais en plus il apportera un gain en sensibilité spectaculaire puisque sa surface collectrice est plus de 10 fois plus grande que celle de ses prédécesseurs.



Une grande partie des lumières de l'univers n'atteint pas le sol terrestre. Les rayonnements sont arrêtés par l'atmosphère à différentes altitudes et ne sont observables qu'au-dessus de l'atmosphère avec ballons, fusées et satellites.

Dévoiler les mondes jeunes et enfouis de l'Univers

Dans les phases précoces de leur formation et de leur vie, les étoiles et les planètes sont dissimulées à l'intérieur ou derrière des nuages de gaz et de poussière qui sont à l'origine de leur constitution. Chauffés par leur environnement, les grains de poussière émettent leur propre énergie dans l'infrarouge, qui s'échappe de l'intérieur du nuage où l'objet céleste lumineux est dissimulé. En observant dans l'infrarouge, Herschel sondera donc ces nuages de poussière pour en extraire de précieuses informations qui apporteront des éléments de réponses à de cruciales interrogations. Comment les galaxies se forment-elles et évoluent-elle dans la jeunesse de l'Univers ? Comment les étoiles se forment-elles et évoluent-elle en relation avec le milieu interstellaire des galaxies ?

Les contributions du CEA à Herschel

Herschel est le fruit d'une collaboration internationale au sein de laquelle le CEA a eu un rôle prépondérant, notamment dans la réalisation des deux caméras infrarouges Spire et Pacs :

- le CEA-Léti (Grenoble) a développé et fabriqué les détecteurs de la caméra de Pacs,
- le Service des basses températures du CEA-Inac (Grenoble) a équipé les instruments Spire et Pacs de cryoréfrigérateurs permettant de refroidir les détecteurs à une température de 300 millikelvins³,
- le CEA-Irfu (Saclay) a construit la caméra de Pacs et son électronique, ainsi qu'une large part de l'électronique Spire.

Responsable de la réalisation des instruments, le Service d'Astrophysique du CEA-Irfu est également fortement engagé dans l'exploitation scientifique des données qui seront recueillies par Herschel. En plus du temps d'observation garanti dont il dispose du fait de ses travaux sur l'instrumentation du satellite, le CEA a obtenu du temps d'observation ouvert pour d'autres programmes de recherche.

Les instruments d'Herschel

Dans le choix et la conception des instruments d'astronomie, deux caractéristiques concurrentes doivent être prises en compte :

- la résolution spectrale qui fournit des informations sur les énergies des phénomènes mis en jeu ;
- la résolution spatiale qui permet d'obtenir des informations morphologiques des objets observés.

Afin d'assurer une collecte de données la plus complète possible, Herschel emporte à son bord un instrument dédié à la spectroscopie, Hifi, ainsi que Pacs et Spire, deux instruments d'imagerie.

A noter que ces derniers disposent néanmoins d'une capacité de spectro-imagerie, permettant aux astronomes d'obtenir dans un même temps des informations spatiales et spectrales sur l'objet observé. La résolution spectrale atteinte par ses deux instruments est nettement plus faible qu'avec un spectromètre. Mais, couplée à la résolution spatiale nécessaire à la compréhension de la nature des sources célestes, elle enrichit et complète significativement les informations recueillies.

La conception de Spire et de Pacs, similaire, a mis l'accent sur la résolution spatiale et la sensibilité au détriment de la résolution spectrale. Les deux instruments comportent une voie d'imagerie - une caméra en quelque sorte - munie de trois filtres à large bande passante. Dans les deux cas, la détection est assurée par un plan focal constitué de bolomètres, chacun d'entre eux constituant un pixel.

³ Une température de 300 millikelvins correspond à 0.3°C au dessus du zéro absolu.

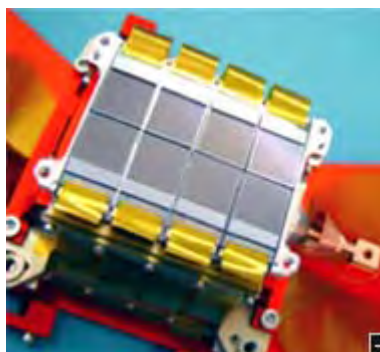
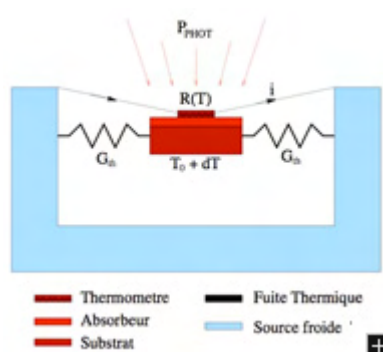
Les bolomètres

Un bolomètre est un détecteur de rayonnement électromagnétique. Son principe est simple : il transforme l'énergie du rayonnement électromagnétique en chaleur qui, une fois convertie en énergie électrique, est ensuite absorbée par une source froide.

Ce type de détecteur compte parmi les plus performants pour le rayonnement X, l'infrarouge lointain et le sub-millimétrique.

Aujourd'hui un bolomètre est essentiellement composé de trois briques de bases : un absorbeur de rayonnement, un senseur thermique et une fuite thermique qui connecte l'absorbeur à une source froide (à 0,3 K dans le cas des bolomètres de PACS). Ces fonctions de bases sont remplies par des éléments distincts, rendant ainsi possible l'optimisation des performances de chacun des éléments constitutifs du bolomètre. Il s'agit alors de bolomètres composites.

Pour les bolomètres de l'instrument PACS, les équipes du CEA sont parvenues à atteindre une sensibilité extrêmement grande de 10^{-16} Watt, qui permettrait de détecter un objet émettant une puissance de 100 watts sur la lune.



À GAUCHE - L'empilement typique des éléments constituant un bolomètre composite pour l'astronomie infrarouge et submillimétrique : l'absorbeur est une couche mince de métal déposée sur un substrat dont la capacité calorifique est très faible, le thermomètre est en contact thermique avec l'absorbeur et est relié électriquement à la structure par deux connecteurs.

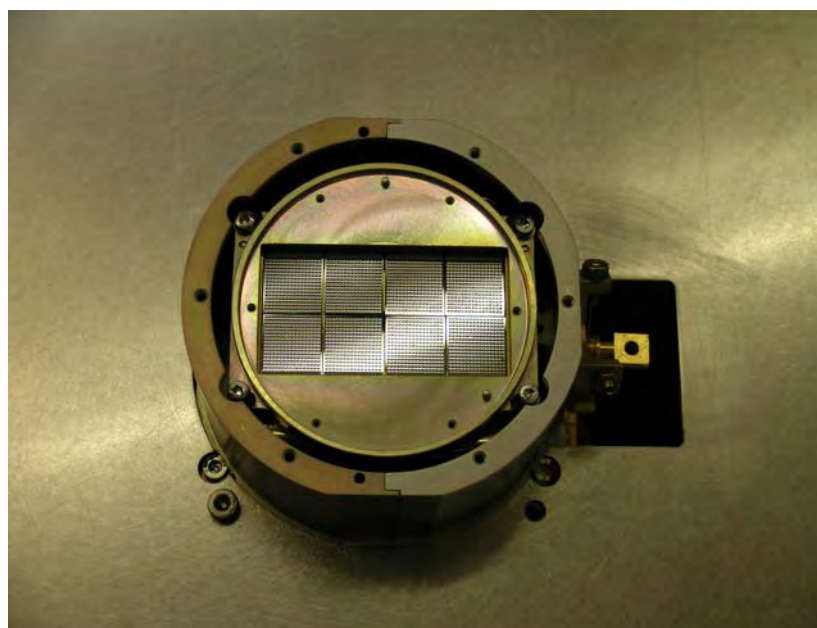
À DROITE - 8 matrices de bolomètres réalisées au CEA pour PACS. Chaque matrice contient 256 pixels soit au total 2000 pixels pour une voie de l'imageur PACS. L'autre voie est équipée de deux matrices.

Crédits : CEA

La caméra de Pacs

La conception de la caméra de PACS, réalisée par des équipes du CEA, est une avancée technologique significative. Au contraire de Spire, dont les bolomètres relativement classiques sont construits à l'unité puis assemblés

dans le plan focal derrière une matrice de guides d'onde⁴ - qui sert à fournir la sélection directionnelle du détecteur ainsi qu'à favoriser l'absorption du rayonnement -, Pacs possède le premier plan focal de bolomètres qui puisse véritablement prétendre au nom de caméra. Avec ses 2048 pixels, c'est même la plus grande caméra de bolomètres disponible actuellement. Réalisé en série, chaque pixel est gravé dans une plaque de silicium jointe à un circuit de lecture. La séparation entre chaque pixel est de moins d'un dixième de pixel, ce qui permet un échantillonnage complet du plan focal. Le circuit de lecture multiplexé permet, quant à lui, de n'utiliser qu'une seule voie de lecture pour accéder aux signaux de 16 pixels différents.



Matrice de 2048 bolomètres, fabriquée par le CEA Leti pour équiper le plan focal de la voie 60-110 μm de l'instrument Pacs d'Herschel. La réalisation de telles matrices est une première mondiale.

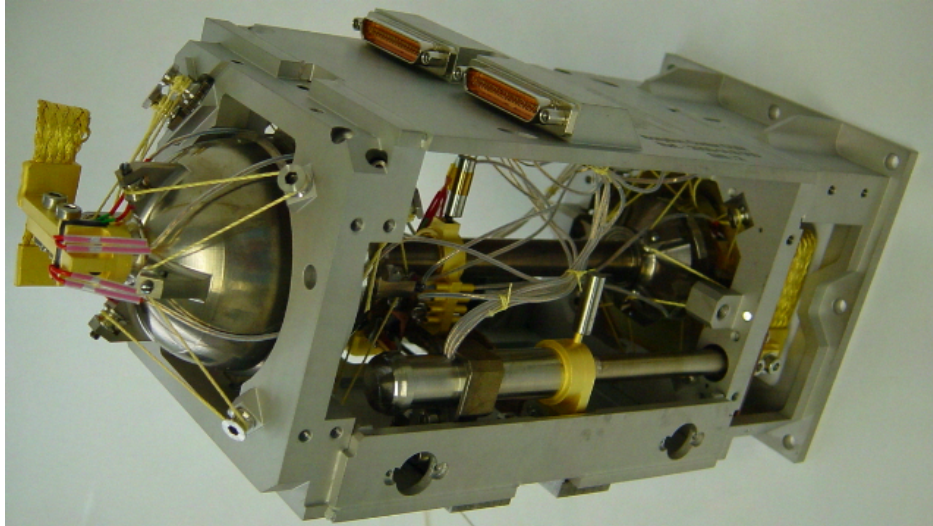
Les cryoréfrigérateurs

Afin d'accroître leur sensibilité et de réduire leur « bruit » intrinsèque⁵ pour capter le plus efficacement possible les rayonnements infrarouges, les bolomètres sont le plus souvent refroidis à très basse température, autour de quelques Kelvins, c'est-à-dire à des températures inférieures à -269°C . Le Service des Basses Températures du CEA (Grenoble), et plus particulièrement le laboratoire « cryoréfrigérateurs et cryogénie spatiale », travaille depuis de nombreuses années à développer des systèmes de refroidissement adaptés aux contraintes spatiales. Pour parvenir à des températures extrêmement froides plusieurs cryoréfrigérateurs doivent être

⁴ Ces guides d'onde sont relativement encombrants et interdisent de disposer les bolomètres de façon compacte dans le plan focal. Celui-ci est donc sous-échantillonné et des techniques d'observations spécifiques, coûteuses en temps et complexes à analyser, doivent être mises en place.

⁵ C'est-à-dire le rayonnement parasite émit par les bolomètres

associés en cascade. Aujourd'hui des chaînes cryogéniques permettant d'atteindre des températures de l'ordre de 20 mK (-273.13°C) sont disponibles. La technique choisie pour les cryoréfrigérateurs de Pacs et Spire est le refroidissement par évaporation utilisant un isotope de l'hélium (l'hélium 3).



Un cryoréfrigérateur de PACS

Le brevet BraSiC®

Mis au point par le Département de Technologie des Energies Nouvelles (DTEN) du CEA (Grenoble) et exploité sous licence par Astrium France (Toulouse), le brevet BraSiC® a été utilisé pour l'assemblage des segments du miroir d'Herschel. Cette technologie donne à ce miroir segmenté de 3,5 mètres de diamètre, des propriétés mécaniques et de stabilité quasi identiques à celle d'une pièce monolithique.

La participation du CEA aux programmes de recherche

Le satellite Herschel est un véritable observatoire qui, comme d'autres grands instruments au sol, fonctionnera sur appel à propositions et comité de sélection.

Toutefois, Herschel a été conçu et se construit avec deux objectifs scientifiques majeurs :

- **étudier les mécanismes de formation des étoiles** et plus particulièrement comprendre pourquoi elles n'ont pas toutes la même masse et élucider le problème de l'origine de cette masse ;
- **étudier la formation et l'évolution des galaxies** et comprendre les relations qu'elles entretiennent avec les grandes structures de l'univers, ainsi que les propriétés du milieu interstellaire qui les remplit.

Programmes clés en temps garanti⁶

Le Service d'astrophysique du CEA a réparti son temps d'observation obtenu dans 11 des 21 programmes en temps garanti, dont, par exemple :

- Gould Belt qui s'intéresse à l'origine de la masse des étoiles ;
- HOBYS qui se penche sur la formation des étoiles massives ;
- NUAGE qui a pour objet d'étude l'évolution du milieu interstellaire des galaxies...

Programmes clés en temps ouvert⁷

Le Service d'Astrophysique du CEA est engagé dans 7 des 21 programmes et a la responsabilité scientifique du seul programme français, intitulé GOODS, portant sur l'histoire de l'évolution des galaxies (363 heures).

Le CEA est notamment engagé dans les programmes :

- HERITAGE et KINGFISH au sujet de l'évolution du milieu interstellaire des galaxies ;
- HiGAL qui se focalise sur la naissance des étoiles dans notre galaxie...

Le CEA est également très impliqué dans le traitement du signal appliqué aux données produites par les détecteurs bolométriques d'Herschel.

⁶ Le temps garanti, qui rétribue les organismes pour leur participation à la mise au point d'Herschel, représente au total 5 800 heures d'observation.

⁷ Le temps ouvert correspond à des heures d'observation, 5 200 au total, attribuées aux équipes de recherches après mise en concurrence.

Naissance, vie et mort des étoiles

Herschel fera la lumière sur les conditions et les mécanismes conduisant à la fabrication d'une population d'étoiles, en menant une véritable étude démographique des populations d'étoiles, de la gestation à la naissance. Pour cela, Herschel réalisera des cartographies de grandes zones du ciel contenant les sites de production des étoiles, des naines brunes aux étoiles géantes. Les astronomes réaliseront une étude quantitative de ces populations en déterminant leurs caractéristiques telles que la luminosité, la température, la densité et la masse des cocons.

La naissance des étoiles

Les étoiles sont des objets soumis au joug du temps. Elles naissent dans des cocons de gaz et de poussière, vivent et meurent.

Une étoile est une boule de gaz incandescent (hydrogène principalement) où se produisent et s'entretiennent des réactions de fusion⁸ nucléaire, accompagnées d'un dégagement de chaleur et de lumière.

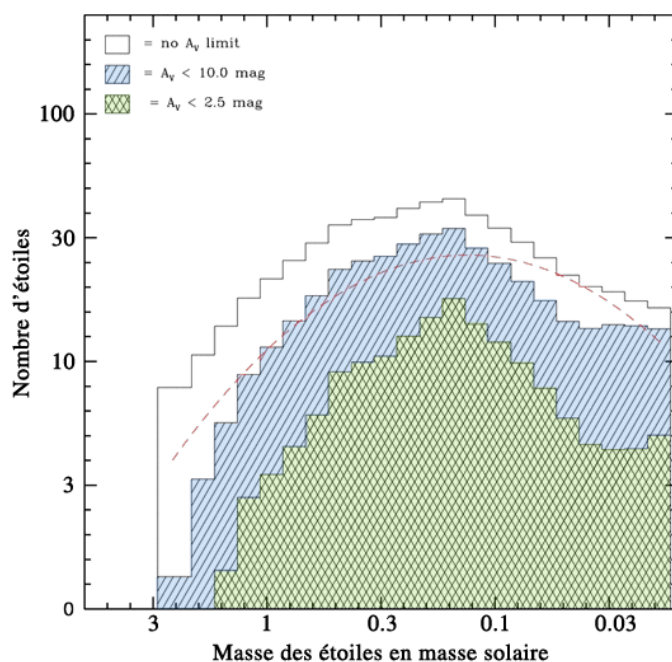
Les étoiles massives (de 10 à 100 fois la masse du Soleil) sont très chaudes (10 000 – 30 000 °C en surface). Elles brillent essentiellement dans l'ultraviolet et sont de couleur bleue pour nos yeux. Elles sont minoritaires dans une population d'étoiles.

De l'autre côté de l'intervalle des masses des étoiles, les petites étoiles (10 fois plus légères que le Soleil au moins) brillent peu, sont rouges, et mènent une vie tranquille. Elles ne dispersent que très peu d'énergie dans l'espace en raison de leur faible température (1000 °C en surface seulement). Ces étoiles pourront exister pendant des milliards d'années, contrairement à leurs consœurs massives qui disparaissent après seulement quelques dizaines de millions d'années.

Les étoiles majoritaires sont toujours celles qui ont une masse proche de celle du Soleil. Ainsi la courbe démographique d'une population d'étoiles à la naissance est décrite par une fonction mathématique qui prédit le nombre d'étoiles dans un amas en fonction de leur masse. Cette fonction est nommée « Fonction de masse stellaire initiale » dans le jargon des astrophysiciens.

Aujourd'hui, une question se pose sur l'universalité de cette répartition des masses stellaires. En ce sens qu'autant qu'on puisse la mesurer, elle se retrouve identique quelles que soient la zone de l'Univers et la population d'étoiles que l'on observe, non seulement dans notre voisinage proche, mais aussi ailleurs dans la galaxie et dans d'autres galaxies.

⁸ La fusion nucléaire est un processus où deux noyaux atomiques s'assemblent pour former un noyau plus lourd. La fusion de noyaux légers dégage d'énormes quantités d'énergie.



La masse d'une étoile est ainsi un paramètre fondamental. Elle détermine la durée de vie de l'étoile, son intensité lumineuse et sa capacité à transformer l'hydrogène en atomes plus lourds tels que l'oxygène et le carbone. Ce paramètre détermine également l'impact de la mort d'une étoile, par exemple en supernova, sur l'écologie galactique et sur la matière recyclable dans le milieu interstellaire⁹.

Pourtant l'origine de la masse d'une étoile et les conditions initiales qui la font naître sont toujours un mystère. Beaucoup de questions restent sans réponse. Pourquoi les étoiles naissent-elles en large fratrie ? Comment fabrique-t-on des étoiles à partir du milieu interstellaire ? Comment un fragment d'un nuage moléculaire se transforme-t-il en une population d'étoiles ? Pourquoi les petites étoiles comme les naines rouges et le Soleil sont-elles toujours plus nombreuses que les étoiles géantes dans une population donnée ?

L'étude de la formation stellaire

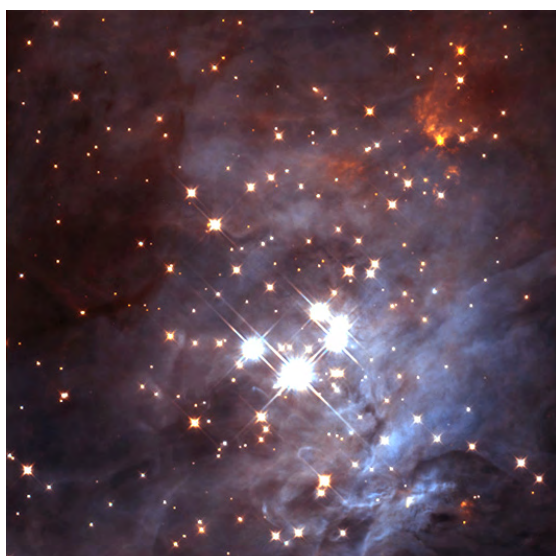
Les nuages moléculaires gisent entre les étoiles. Ce sont des réservoirs de molécules : alcool, ammoniac, vapeur d'eau, monoxyde de carbone et surtout de l'hydrogène.

La mutation d'un nuage moléculaire dans le milieu interstellaire en un amas d'étoiles se déroule en deux grandes phases.

⁹ En astronomie, le milieu interstellaire est le gaz raréfié qui, dans une galaxie, existe entre les étoiles et leur environnement proche. Ce gaz est habituellement extrêmement ténu, avec des densités de matière typiques allant de 10 à 100 particules par décimètre cube (ou litre). On inclut également sous la dénomination milieu interstellaire les nébuleuses planétaires, les enveloppes de novae et supernovae et l'environnement des noyaux actifs de galaxies. Dans ces cas, les densités sont plus élevées (jusqu'à 100 000 particules par cm^3).

La première est ce qu'on appelle la phase préstellaire, au cours de laquelle le nuage moléculaire « parent » se fragmente en morceaux. Ces fragments se condensent sous l'effet d'une poussée extérieure ou de manière spontanée. Une condensation préstellaire vient ainsi de naître dans le nuage moléculaire.

Vient ensuite la phase protostellaire, pendant laquelle un embryon stellaire apparaît au sein de la condensation. Il grossit en dévorant une grande partie de la matière (gaz, poussière) de la condensation qui l'enveloppe. L'embryon stellaire se nourrit de son cocon. Finalement, lorsque l'embryon d'étoile a avalé une grande partie de son cocon, l'étoile se contracte, monte en température à l'intérieur jusqu'à amorcer les réactions nucléaires de fusion de l'hydrogène en hélium. Une étoile est née.



L'amas du trapèze dans la constellation d'Orion. Une fratrie de jeunes étoiles s'extirpe de son cocon nébuleux de gaz et de poussière. D'autres y sont encore enfouies.
Crédits : NASA & ESA

De la formation stellaire aux grandes fratries d'étoiles

Pour comprendre comment une population d'étoiles naît et pourquoi sa répartition en masse est celle que l'on observe, les astrophysiciens ont proposé deux modèles qui reposent sur des simulations numériques.

Dans le premier modèle, la masse de l'étoile est innée. Les nuages moléculaires se fragmentent en un certain nombre de condensations préstellaires qui se libèrent de leur environnement turbulent. Ils s'effondrent sur eux-mêmes pour donner naissance à un ou des embryons d'étoile. Les masses des étoiles formées sont directement reliées aux masses des condensations préstellaires initiales. La répartition des individus en fonction de leur masse, au sein de la population ainsi formée, résulte du processus de fragmentation des nuages au stade préstellaire, c'est-à-dire avant l'effondrement des condensations.

Dans le deuxième modèle, la masse de l'étoile est acquise. La répartition en masse des étoiles formées est quasiment indépendante des masses initiales

des cœurs préstellaires produits par fragmentation. Chaque embryon d'étoile issu d'une condensation préstellaire se déplace à l'intérieur du nuage parent et accumule progressivement de la masse en « balayant » et en aspirant une plus ou moins grande quantité de matière qu'il traverse. Plus une étoile est grosse, plus elle attirera de la matière au détriment des plus petits objets. On parle alors d'accrétion (= attraction de la matière) compétitive. Dans ce modèle, la répartition des individus en fonction de leur masse n'est déterminée qu'après le stade préstellaire, c'est-à-dire après l'effondrement des condensations en étoiles.

Ce second modèle pourrait mieux expliquer la formation des étoiles les plus grosses.

Que va apporter Herschel dans l'analyse de la formation stellaire ?

Herschel a pour ambition de répondre à plusieurs grandes questions. Comment sont générées les condensations préstellaires ? Avec quelle efficacité un nuage moléculaire produit-il des étoiles ? La formation des étoiles est-elle un processus isolé ou interactif ? Les conditions initiales à l'origine de la fabrication d'une étoile varient-elles en fonction de la masse stellaire à atteindre ?

Pour y répondre, Herschel sondera les nuages moléculaires à la recherche des condensations glacées dans lesquelles naissent les étoiles, des naines brunes aux étoiles géantes. Ces astres, en devenant, émettent de l'énergie principalement dans le domaine infrarouge submillimétrique car ils sont très froids. Plus la condensation est froide, plus sa couleur, et donc son énergie, se décale vers l'infrarouge et l'infrarouge submillimétrique. Herschel mesurera, pour la première fois, la quantité d'énergie émise par ces fragments. À partir de ces observations, les astronomes déduiront la proportion de fragments préstellaires en mesurant leur luminosité et en déduisant leur masse, ainsi que leur densité et leur température.

Ils construiront ainsi des courbes démographiques des condensations préstellaires et des embryons d'étoiles. En comparant ces courbes à celles qui sont connues pour les populations d'étoiles de notre galaxie, les astronomes pourront conclure sur l'origine de la masse des étoiles.

L'évolution des galaxies

Herschel étudiera en détail la composition du milieu interstellaire des galaxies. Il étudiera les nuages de Magellan en particulier, deux galaxies naines voisines, très proches de notre galaxie. En parallèle avec ces études détaillées, Herschel étudiera les propriétés d'un échantillon de galaxies naines.

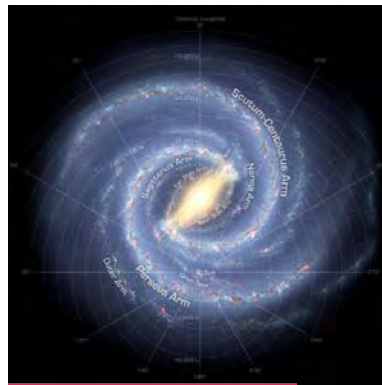
Herschel va également nous permettre de mesurer sans ambiguïté la quantité d'étoiles qui se forment dans l'univers à chaque instant de son histoire, depuis il y a 10 milliards d'années jusqu'à nos jours. En mesurant comment la formation des étoiles évolue dans l'univers à chaque époque, on obtient un élément essentiel qui pourra nous amener à comprendre comment ont évolué les nuages de gaz primordiaux pour former les galaxies que l'on observe de nos jours dans toute leur diversité.

Les différentes formes de galaxies

Il existe une grande diversité de tailles et de formes de galaxies :

Les galaxies elliptiques, pauvres en gaz, qui ont la forme d'une ellipse assez régulière.

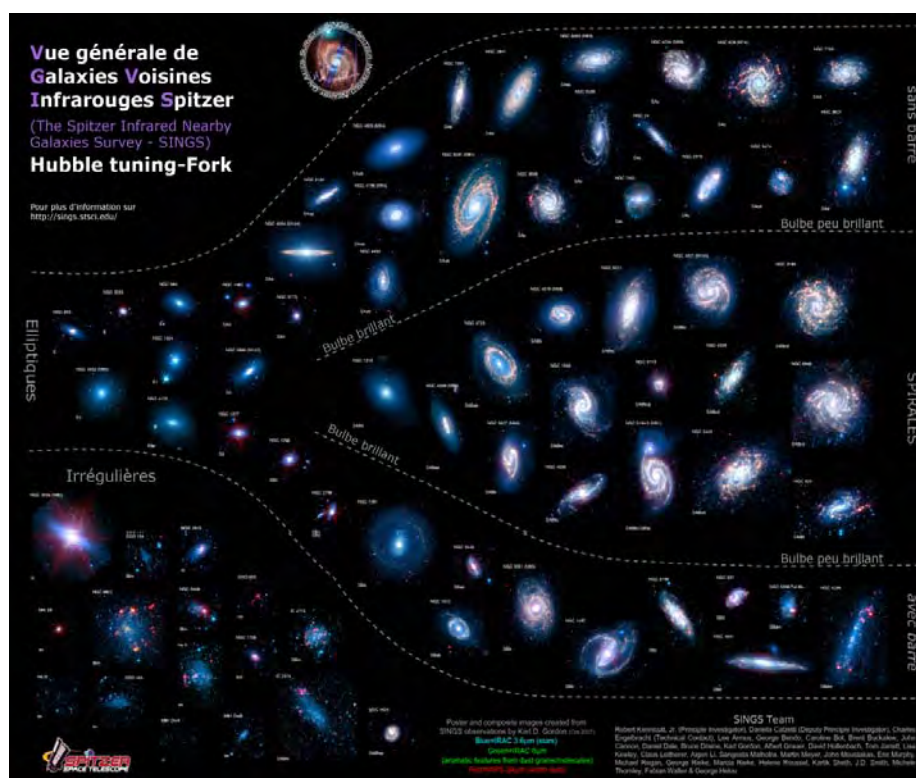
Les galaxies spirales, qui sont constituées d'un disque fin rempli d'un mélange de gaz, de poussière et d'étoiles, et d'un bulbe plus épais au centre principalement rempli d'étoiles. C'est dans le disque qu'apparaissent des bras spiraux plus ou moins nombreux et plus ou moins marqués. La Voie Lactée appartient à cette catégorie.



Carte de la Voie Lactée

Les galaxies irrégulières, souvent petites et peu massives, riches en gaz et pauvres en étoiles.

Parmi ces catégories figurent les galaxies naines. Les propriétés de ces dernières sont très importantes parce que les astronomes suggèrent que les galaxies plus massives comme la nôtre sont issues de fusion de ces petites galaxies.



Bestiaire des galaxies.
Crédit : NASA - Spitzer SINGS

On suppose qu'il existe une séquence évolutive entre les différents types de galaxies.

Les galaxies elliptiques, pauvres en milieu interstellaire et principalement composées de vieilles étoiles sont considérées comme des produits finaux de cette évolution.

Les galaxies spirales sont considérées comme des galaxies intermédiaires, dont l'évolution se fait en fabriquant un bulbe de plus en plus important, et détruisant un jour leur disque. Le moteur de cette évolution des galaxies est la formation d'étoiles. En mesurant le taux de formation d'étoile qui se produit dans l'univers à chaque époque, on obtient un élément essentiel qui pourra nous amener à comprendre comment ont évolué les nuages de gaz primordiaux pour former les galaxies que l'on observe de nos jours dans toute leur diversité.

La poussière, composante essentielle du milieu interstellaire des galaxies

Le milieu interstellaire contient 99% de gaz (hydrogène et hélium principalement) 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 (carbone, oxygène, magnésium et silicium). Les deux matériaux principaux sont des silicates (sable) et du carbone (diamant, graphite ou carbone amorphe). Cette petite fraction de grains solides est très importante parce que les solides interagissent fortement avec la lumière.

Comment connaître la nature de la matière dans le milieu interstellaire ? La première indication de cette matière vient des observations des étoiles. Les étoiles les plus lointaines apparaissent plus rouges que leurs consœurs les plus proches. La lumière bleue est absorbée et diffusée dans le milieu interstellaire avec beaucoup plus d'efficacité que la lumière rouge. Cette différence entre le rouge et le bleu signifie que la lumière interagit avec la matière, notamment les grains de poussière interstellaire.

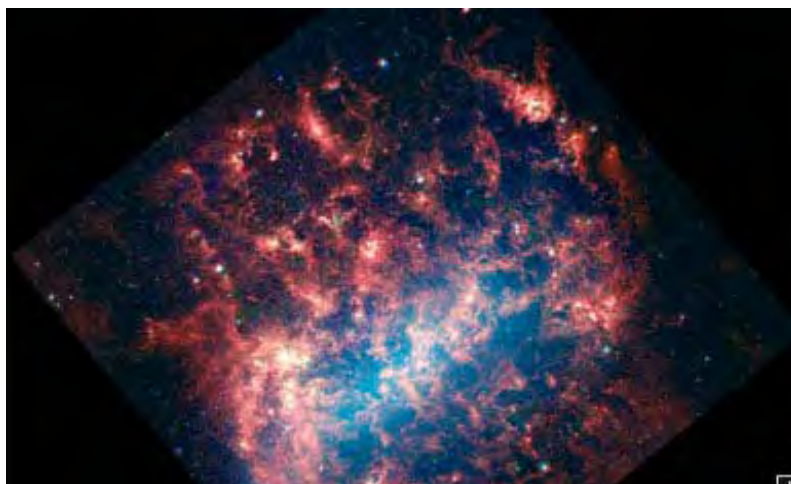


Image du Grand Nuage de Magellan dans l'infrarouge proche à partir des données Spitzer. L'image est dominée par la lumière des étoiles (bleu) et l'émission des grandes molécules (rouge).
Crédit : NASA Spitzer – SAGE team

En observant ces décalages de couleur vers le rouge, les physiciens obtiennent des informations importantes sur la taille et le nombre de grains de poussière qui gisent entre les étoiles, notamment le nombre des plus petits. Mais cette méthode est très indirecte et se limite qu'aux milieux ayant des étoiles en fond qui « éclairent » ces petits grains de matière. Pour voir les grains directement, les astrophysiciens observent dans l'infrarouge lointain et submillimétrique. Chaque grain absorbe si peu de lumière qu'ils restent très froids, souvent à -250°C. Même avec des températures si basses, ils émettent de la lumière, mais c'est de la lumière infrarouge. Herschel sera le premier télescope à voir toute cette lumière.

Qu'allons-nous déduire avec Herschel ?

Les propriétés des poussières

Les photons UV produits par les jeunes étoiles massives ne sont pas directement détectables dans les galaxies très « poussiéreuses » de l'univers lointain, mais laissent tout de même une trace de leur existence en chauffant les cocons de poussière, qui rayonnent alors en infrarouge. Cette émission de la poussière que les astronomes peuvent retraduire en termes de formation d'étoiles offre l'avantage de ne pas oublier la formation d'étoiles cachée par la poussière lorsqu'on les comptabilise.

Les astronomes bénéficieront ainsi de deux avantages. Premièrement, l'émission de la poussière due à la formation d'étoile sera mesurée seule puisque la poussière située aux environs des trous noirs massifs est si chaude

qu'elle n'émet quasiment pas dans l'infrarouge lointain, ne permettant aucune méprise. Ensuite, les scientifiques pourront mesurer cette émission due à la formation stellaire directement à son maximum, et supprimer ainsi les erreurs d'extrapolation qui ont pu apparaître auparavant. Enfin, Herschel réalisera cette mesure jusqu'à des temps plus reculés que ceux sondés jusqu'à présent, allant jusqu'à 10 milliards d'années dans le passé.



Grain de graphite trouvé dans la météorite Murchison. La composition indique que le grain s'est formé lors d'une explosion supernova avant être injecté dans le milieu interstellaire. Le centre du grain est un petit cœur de titanium-carbide.

Crédit : *Bernatowicz et al, ApJ v.472, p.760*

La métallicité des galaxies

Où les grains sont-ils fabriqués ? Où sont-ils détruits ? Pour comprendre le cycle de fabrication de la poussière, les astrophysiciens tentent de caractériser les propriétés du milieu interstellaire en fonction de son environnement. Un paramètre fondamental est la métallicité. C'est le paramètre qui décrit la quantité des atomes lourds (C, O...) par rapport à l'hydrogène. Les éléments lourds sont les composants à la base de tous les solides. Tous ces éléments lourds sont produits dans les étoiles et injectés dans le milieu interstellaire par

des vents et des explosions stellaires. Le résultat est que la métallicité augmente avec chaque génération d'étoiles qui déposent de nouveaux atomes lourds issus des réactions de fusion nucléaire. Si on regarde une galaxie jeune dans l'univers lointain ou une galaxie ayant peu formé d'étoiles au cours de son histoire, la métallicité y est faible.

Herschel tentera de caractériser de façon très précise la métallicité des galaxies.