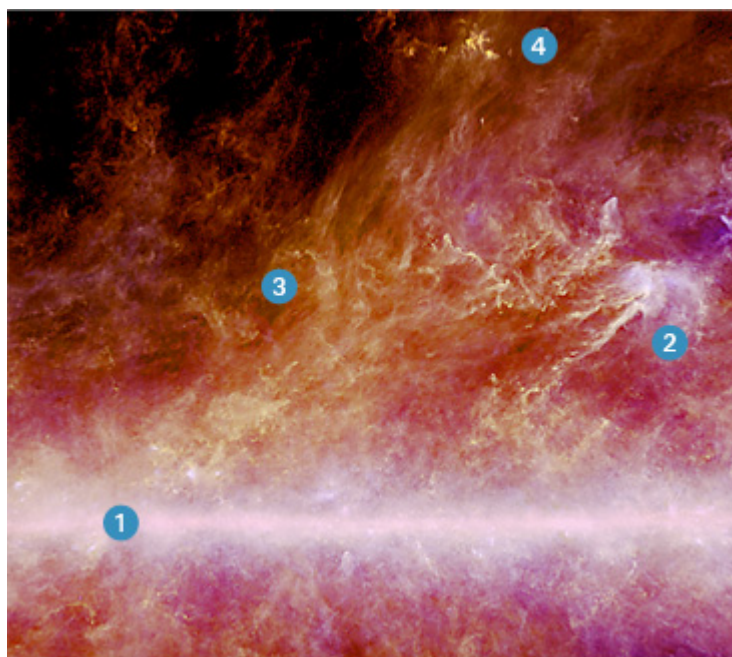




Poussières froides

Dossier de Jean-Philippe Bernard et Francois-Xavier Désert



L'image est une composition de l'émission observée à l'aide du satellite IRAS à 100 microns de longueur d'onde (violet) et des données Planck (orange et rouge) à 350 microns (857 GHz) et 550 microns (543 GHz).

L'émission du milieu interstellaire à ces trois longueurs d'onde est dominée par l'**émission thermique de grains de poussière** dont la taille est au plus de 0.1 microns (0,0001 millimètres). Ces grains sont chauffés par le **rayonnement** ambiant des étoiles de la **Galaxie**, essentiellement de la lumière visible et ultra-violette. C'est l'équilibre thermique entre le chauffage des grains par le rayonnement des étoiles et leur refroidissement par émission du rayonnement dans l'infra-rouge lointain (montré sur cette image), qui conduit les grains à une **température très froide, de l'ordre de quelques dizaines de degrés Kelvin**. Par leur émission, les grains interstellaires sont de véritables traceurs de la matière dans notre Galaxie, et les observations de cette émission à grande longueur d'onde avec Planck nous permettent de **sonder les régions les plus denses, notamment celles où se forment les étoiles**. La combinaison d'images utilisée ici est particulièrement efficace pour mesurer **les variations de température, les poussières « chaudes »** (vers 30 Kelvin dans ce cas) rayonnant préférentiellement dans la bande d'IRAS et les plus froides (vers 10 Kelvin) émettant plutôt dans les bandes de Planck.

De la même façon, les observations du satellite Herschel, qui couvrent cette même région du spectre électromagnétique, permettent une **mesure très précise de la température des grains**, et offrent l'avantage d'une meilleure résolution angulaire dans les quelques zones cartographiées.

Les grains de poussière du milieu interstellaire peuvent être considérés comme de **petits thermomètres**. Leur température nous renseigne sur l'intensité du champ de rayonnement auquel ils sont soumis. Les régions violettes ou blanchâtres de l'image sont celles où le champ est le plus intense, et où les grains sont par conséquent les plus chauds. Parmi ces régions, on reconnaîtra le **plan galactique (1)** qui n'est autre que le disque de notre propre Galaxie vu par la tranche, où se forment de nombreuses étoiles massives et brillantes. La **zone filamentaire située au dessus du plan galactique (2)** qui contient également de la poussière plus chaude est le complexe

de rho-Ophiuchi, l'une des régions de formation d'étoiles les plus proches du Soleil (environ 520 années-lumière). Les régions orangées sont celles situées le plus loin des étoiles, où la poussière est plus froide. Par exemple, la **région orangée** traversant l'image, nommée « **Aquila Rift** » (3), fait partie d'une boucle de gaz et de poussière éjectée du plan galactique où les étoiles ne se forment pas, ou peu. La structure contrastée au milieu en haut de l'image est un **nuage moléculaire dense et froid** (4), mais qui n'est pas suffisamment massif pour former des étoiles de façon efficace.

L'intensité du rayonnement produit par les étoiles est l'une des quantités clés pour la compréhension de la physique du milieu interstellaire et du cycle de la matière interstellaire. Elle détermine entre autre l'abondance des particules de poussière de plus petite taille qu'on peut déduire des observations infra-rouge existantes. Elle conditionne également la survie de certaines espèces moléculaires et par la même certaines des réactions physiques et chimiques complexes possibles dans ce milieu très dilué.

La cartographie de l'intensité du rayonnement produit par les étoiles sera donc, à n'en pas douter, l'un des apports majeurs de Planck et Herschel à l'étude du milieu interstellaire.

Pourquoi ces images sont-elles dominées par l'émission de la poussière interstellaire qui ne représente qu'un pour cent en masse du gaz interstellaire, lui-même un dixième de la masse des étoiles ?

La plupart des atomes lourds du milieu interstellaire (en incluant carbone, oxygène, azote puis les métaux) dans la classification périodique se retrouvent sous la forme de **petits grains solides dont la taille varie de 1 millièrme à un dixième de micron** (à peu près la taille des virus, le micron est le millièrme d'un millimètre: l'épaisseur d'un cheveu est de 100 microns). C'est la taille des particules présentes dans la fumée de cigarette.

Ces grains sont soit des **silicates** (comme les cailloux) soit du **carbone amorphe hydrogéné** (un peu comme la suie). Dans le milieu interstellaire dense, ils se retrouvent enrobés par des glaces d'eau sale.

La poussière interstellaire absorbe efficacement la lumière visible des étoiles. En effet, la taille des grains est du même ordre de grandeur que la longueur d'onde de la lumière des étoiles (le domaine visible couvre de 0,4 à 0,8 microns). En revanche, les atomes et molécules du milieu interstellaire sont «trop petits». Il n'absorbent que certaines raies bien précises mais peu le continuum d'émission de lumière des étoiles.

Au début du XXIème siècle, on avait trouvé des «trous» apparents dans la distribution des étoiles de notre galaxie (la Voie Lactée). Ce n'est que bien plus tard qu'ils ont été identifiés comme étant des poches denses de gaz et de poussières. **Et ce sont les poussières qui s'interposent au passage de la lumière vers nous.**

Ces poussières ne sont pas en contact avec le gaz, si bien qu'elles vont **s'échauffer jusqu'à atteindre un équilibre entre leur chauffage par le rayonnement des étoiles et leur refroidissement par émission de lumière** (le grain ne peut plus emmagasiner l'énergie: il rend tout ce qu'il reçoit). C'est cette émission que l'on retrouve dans les cartes infrarouges du **ciel**. Les étoiles, bien que beaucoup plus chaudes que les grains de poussières, n'émettent relativement que peu de lumière infrarouge. Cela tient à nouveau au fait que, par unité de masse, les étoiles présentent peu de surface par rapport à celle des grains. C'est pour la même raison, qu'un kilo de petites pommes de terre fait beaucoup plus d'épluchures qu'un kilo de grosses pommes de terre !

Pourquoi la poussière interstellaire se retrouve à une température de 20 Kelvin (-253 degrés Celcius) environ ?

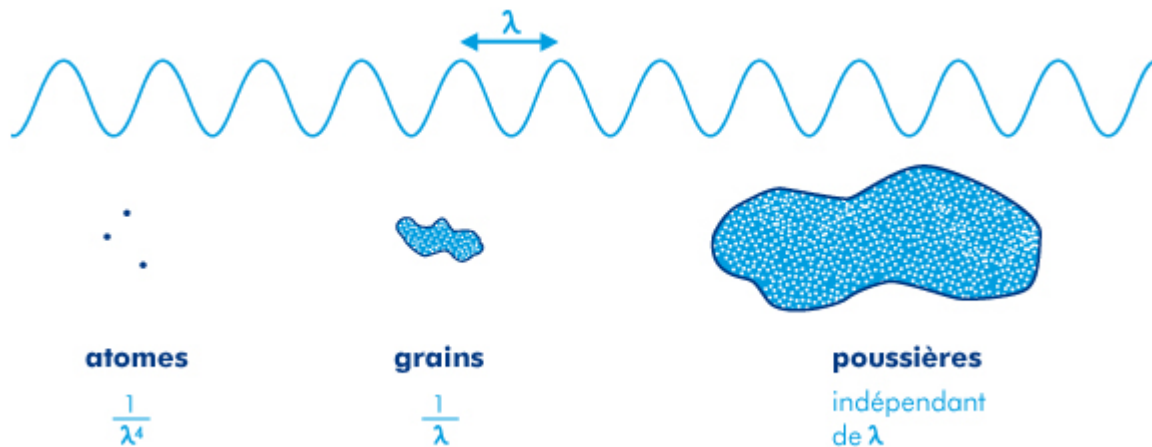
Si un grain de poussière (par exemple provenant d'une comète) est au voisinage de la surface du Soleil, sa température d'équilibre est de 6000 K. Il se volatilise. Mais la plupart du temps les grains de poussière sont loin des étoiles et baignent dans un rayonnement galactique «moyen». **Ce rayonnement est celui de toutes les étoiles réunies mais il est dilué par leur distance.** Charles Fabry (au début du XXIème siècle) a mesuré que ce rayonnement, dans le voisinage solaire, avait la densité de lumière d'un corps noir à 3 degré K, une coïncidence cosmique avec le **rayonnement fossile** à 3 K découvert plus tard !

En principe, l'émission thermique des poussières devrait donc se retrouver avec une température de 3 K. Eh bien non ! **Du fait de leur taille, les grains sont de piètres émetteurs : les grains sont bien plus petits que la longueur d'onde (1 mm) à laquelle ils voudraient émettre.** Ils vont donc compenser en déplaçant l'équilibre vers des températures plus élevées. Le calcul donne une **température entre 15 et 20 K** selon le type de grain. L'émission se concentre donc dans le domaine infrarouge (100 micron) bien adapté à une observation par Herschel.

Qu'apporte alors Planck si les grains semblent trop chauds et émettent leur énergie dans

l'infrarouge et non pas dans son domaine radio-millimétrique de prédilection ?

Les grains émettent comme un corps noir modifié, c'est-à-dire selon une variante de la loi de Planck. Effectivement, le gros de l'énergie qu'ils absorbent se retrouve dans le domaine infrarouge. Mais l'émission dans la queue du spectre de lumière mesurée par Planck (micro-onde et millimétrique) permet de mesurer la distribution spatiale des grains, quelle que soit leur température, **ce qui fait de Planck un excellent traceur du milieu interstellaire**. En outre, dans les fameuses poches de gaz denses (là où les étoiles semblent avoir disparu dans le domaine visible), les couches successives de poussières s'écrantent de plus en plus de la lumière des étoiles. Le coeur de ces nuages denses contient donc des poussières très froides. Planck en détecte à des températures inférieures à 10 Kelvin !



Ci-dessus : **Constituants des nuages filamentaires**

Planck est donc à la fois un détecteur et un thermomètre des régions les plus froides de notre Galaxie. Et il se trouve, mais c'est une autre histoire, que ce sont ces régions qui sont à l'origine de la formation des étoiles. Les premières images de Planck montrent que ce qu'on appelle des nuages est plutôt un entrelacs de filaments. Planck nous en donne une vision globale sur tout le ciel. Herschel est complémentaire car il permet d'améliorer, sur de petites cartes, la finesse des détails jusqu'aux coeurs individuels.