

Regardez le ciel par une nuit claire et observez la Voie Lactée, ce voile laiteux formé des milliards d'étoiles de notre Galaxie : dans certaines zones, vous verrez des taches sombres. Selon William Herschel, astronome anglais du XVIII^e siècle, ces taches étaient des «trous» dans le ciel, c'est-à-dire des zones vides. Puis, au début du XX^e siècle, les astronomes ont découvert que ces taches obscures étaient d'énormes nuages de poussières qui interceptent la lumière des étoiles situées derrière eux. Les particules de cette poussière cosmique sont minuscules : leur diamètre est de l'ordre du centième de celui des particules qui s'accumulent sur les meubles. Pourtant, cette poussière a eu une influence notable sur l'évolution de la Galaxie et sur la formation des étoiles dans l'Univers.

Jusque vers 1950, de nombreux astronomes ne voyaient dans cette poussière qu'un obstacle à l'observation des étoiles lointaines. Au contraire, depuis quelques années, ces grains de matière interstellaire sont étudiés assidûment à l'aide de télescopes terrestres ou spatiaux : grâce aux données ainsi recueillies, les astronomes ont décrit l'évolution de cette poussière d'étoiles. Comment est-elle apparue ? De quoi est-elle formée ? Comment évolue-t-elle ? Avec Aigen Li, aujourd'hui à l'Université de Princeton, nous avons élaboré une théorie, nommée modèle unifié de la poussière, qui, même si elle n'est pas encore validée, explique les récentes observations.



Anglo-Australian Observatory/Royal Observatory, Edinburgh

Dans la Voie Lactée, les nuages de poussières sont concentrés dans le plan de la Galaxie, surtout le long des bords internes de ses bras spiraux. Dans ces zones hétérogènes, les étoiles forment des amas denses dispersés parmi des nuages de poussières. Ces derniers absorbent davantage les longueurs d'ondes bleues et ultraviolettes de la lumière stellaire que les rouges et les infrarouges. Aussi, quand les astronomes observent des étoiles à travers la poussière, elles apparaissent plus rouges qu'elles ne le sont en réalité. De même, le Soleil est plus rouge quand il est proche de l'horizon, car les poussières et le gaz de l'atmosphère terrestre dispersent sa lumière.

Rencontre des trois types

On a étudié comment l'intensité lumineuse diminue en fonction de la longueur d'onde et des substances traversées et l'on en a déduit qu'il existe trois types de grains de poussière. Les plus gros sont allongés, ils ont un diamètre de l'ordre de 0,2 micromètre et une longueur double, c'est-à-dire qu'ils sont de la taille des particules de la fumée de cigarette. Ces particules, qui arrêtent la lumière visible, représentent environ 80 pour cent de la masse totale des poussières interstellaires. Chaque grain comporte un noyau «rocheux», entouré d'un manteau de matériau organique et de glace (voir la figure 3).

Sur la courbe d'extinction, on observe un pic d'absorption dans l'ultraviolet, qui correspond à la présence de grains plus petits. Ils ont un diamètre de l'ordre de 0,005 micromètre et constituent 10 pour cent de la masse totale des poussières. Ces grains sont sans doute constitués de carbone amorphe et d'hydrogène, mais sont vraisemblablement dépourvus d'azote et d'oxygène.

Enfin, les particules du troisième type, qui composent encore 10 pour cent de la masse des poussières cosmiques, sont encore plus petites (0,002 micromètre de diamètre) : elles interceptent l'ultraviolet lointain. Ces grains seraient constitués de molécules proches des

hydrocarbures polycycliques aromatiques, présents dans les gaz d'échappement des automobiles.

Très éloignés des étoiles, ces grains de poussière sont extrêmement froids : leur température ne dépasse parfois pas cinq degrés au-dessus du zéro absolu, soit -268 °C. Dès les années 1940, l'astronome hollandais Henk van de Hulst a proposé une théorie, aujourd'hui surnommée le modèle de la glace sale, selon laquelle une partie des atomes présents dans l'espace interstellaire (l'hydrogène, l'oxygène, le carbone et l'azote) adhérerait à la surface froide des grains et formerait des couches de glace d'eau, de méthane et d'ammoniaque.

Toutefois, ce n'est qu'au début des années 1970 que ce modèle a été confirmé. En étudiant les spectres infrarouges de la lumière stellaire traversant les nuages de poussière, les astrophysiciens ont détecté les raies d'absorption caractéristiques des silicates (constitués de silicium, de magnésium et de fer), qui composent le cœur des grains de poussière du premier type. À la même époque, ils ont également observé la raie d'absorption de l'eau gelée dans le spectre infrarouge. Ultérieurement, on a montré que ces grains contenaient du monoxyde et du dioxyde de carbone, du formaldéhyde et d'autres composés. Ces substances sont volatiles : elles gèlent au contact des grains de poussière froids, mais elles s'évaporent lorsque la poussière se réchauffe. À l'inverse, les substances qui constituent les noyaux des grains de poussière sont réfractaires : elles restent solides même aux températures élevées.

... poussière tu redeviendras

Les poussières interstellaires constituent environ un millième de la masse de la Voie Lactée, soit des centaines de fois la masse totale de toutes les planètes de la Galaxie ! Cependant, la densité de ces poussières est faible : en moyenne, on trouve un grain de poussière par million de mètres cube d'espace. Toutefois, même si la densité des poussières est faible, la lumière stellaire qui les traverse sur des milliers d'années-lumière finit par être partiellement absorbée. Pourquoi notre Galaxie est-elle si poussiéreuse ?

Au début de l'Univers, il y a environ 15 milliards d'années, la poussière n'existait pas. Comme toutes les autres galaxies, la Voie Lactée n'était qu'un mélange d'hydrogène, d'hélium et de

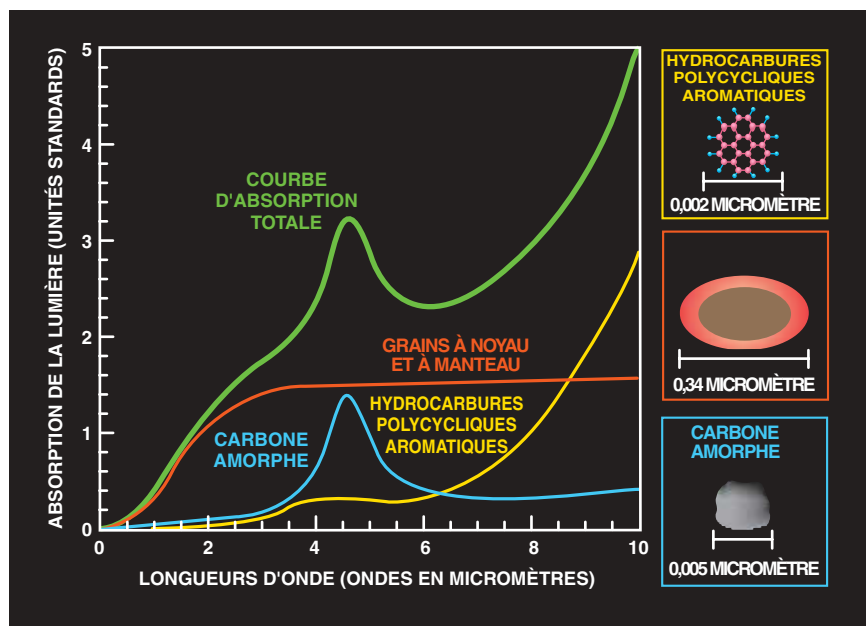
quelques éléments légers créés lors du Big Bang. Seuls les nuages d'hydrogène et d'hélium les plus massifs se contractaient pour former des étoiles, car les forces de gravitation devaient vaincre la pression liée à l'agitation des gaz. Ainsi, notre Galaxie était dominée par des étoiles géantes de types O et B, qui explosaient quelques millions d'années seulement après leur naissance, et se transformaient en supernovae.

En observant les galaxies primordiales à l'aide de télescopes dont les détecteurs sont sensibles aux longueurs d'onde inférieures à un millimètre, les astronomes ont montré que ces supernovae sont à l'origine des premières poussières. Cependant, la durée de vie de ces poussières dans le milieu interstellaire était très courte, car elles étaient rapidement détruites par les ondes de choc des supernovae ultérieures.

Au bout de quelque cinq milliards d'années, la tempête de supernovae se calma, et les étoiles un peu moins massives devinrent des géantes rouges. Tandis que ces étoiles refroidissaient et grossissaient, des particules de silicates se formèrent dans l'atmosphère de ces étoiles, puis furent expulsées dans l'espace interstellaire. Certaines de ces particules de silicates pénétrèrent dans les nuages de gaz moléculaire de ces étoiles : la température qui y régnait était très basse, et chaque atome ou molécule du gaz gelait instantanément à la surface des grains de silicates, comme lorsque les gouttes de vapeur d'eau gèlent sur une vitre glacée ; un manteau de glace enveloppa ainsi chaque noyau de silicate.

À mesure que la poussière se concentrait dans les nuages moléculaires, la densité des grains augmentait jusqu'à atteindre des dizaines de milliers de fois celle qui régnait à l'extérieur des nuages. Épaisse, la couche de poussières empêcha le rayonnement de pénétrer dans les nuages : la température du gaz (et par conséquent sa pression) diminua encore, et la masse requise pour vaincre la pression du gaz fut moindre. Les nuages de gaz les plus petits se contractèrent donc et donnèrent naissance à de « petites » étoiles, tel notre Soleil. En réduisant les contraintes qu'impose la formation des étoiles, les poussières ont notablement modifié l'évolution de la Voie Lactée.

En outre, les poussières de notre Galaxie sont constamment recyclées. Quand un nuage dense de gaz et de



3. L'ABSORPTION DE LA LUMIÈRE provenant d'étoiles situées derrière les nuages de poussières peu denses montre qu'il existe trois types de particules : de gros grains qui ont un noyau recouvert d'un manteau de glace (en rouge), des particules contenant du carbone amorphe (en bleu), et des molécules qui ressemblent aux hydrocarbures polycycliques aromatiques (en vert).

poussières se contracte en une étoile, les grains de poussière les plus proches de la région de formation stellaire s'évaporent : tandis qu'une petite partie de ces grains de poussière est engloutie par l'étoile, ou se condense en planètes rocheuses et en astéroïdes, l'immense majorité est expulsée et forme des nuages moins denses. Dans cet environnement plus hostile, les manteaux glacés des grains de poussière cessent de s'épaissir et sont détruits ou érodés par le rayonnement ultraviolet, par les collisions de particules et par les fronts d'onde de choc des supernovae. Toutefois, le manteau n'est pas totalement retiré : sous la couche externe de glace se trouve un manteau sous-jacent, composé de matériaux organiques complexes qui recouvre le noyau de silicates.

Il y a environ 30 ans, j'ai proposé l'existence de ce manteau organique pour justifier l'importance de l'atténuation de la luminosité par les poussières des nuages diffus, que les seuls silicates ne suffisaient pas à expliquer. J'ai postulé que la couche de matériau riche en carbone, à la surface des grains de poussière, résulte de réactions chimiques au sein du manteau de glace, qui commenceraient alors que le grain est encore dans le nuage dense de gaz moléculaires. Quand des photons ultraviolets énergétiques heurtent le manteau de glace, ils cassent les molécules

d'eau, de méthane et d'ammoniaque et libèrent des radicaux libres : ces derniers se recombinaient en molécules organiques tel le formaldéhyde. Une irradiation persistante par un rayonnement ultraviolet crée des composés plus complexes nommés composés organiques de première génération. Ceux-ci restent sur le noyau de silicate lorsque les grains de poussière quittent le nuage moléculaire et même lorsque le manteau de glace a été détruit. Le manteau de molécules organiques protège le noyau de silicates contre l'onde de choc des supernovae jusqu'à ce que les grains soient à nouveau à l'abri au sein d'un autre nuage de gaz dense.

Substance jaune, substance brune

Afin de tester cette hypothèse, nous avons soumis divers manteaux de glace (à $-263\text{ }^{\circ}\text{C}$) à un rayonnement ultraviolet, puis nous avons chauffé les mélanges. Nous avons obtenu une substance jaune qui contenait du glycérol, du glycéramide, plusieurs acides aminés, telles la glycine, la sérine et l'alanine, ainsi que de nombreuses autres molécules complexes.

Au même moment, les astrophysiciens ont détecté la présence de composés organiques complexes dans les poussières des nuages diffus alors qu'ils mesuraient l'absorption de la