

Séance 1 :Les poussières interstellaires

Les énormes étendues qui séparent les étoiles ne sont pas vides comme les astronomes l'ont longtemps pensé. Elles sont en fait remplies de ce que l'on appelle le milieu interstellaire, qui compte pour environ 10 pour cent de la masse totale de matière dans une galaxie, le reste se trouvant dans les étoiles. Ce milieu est essentiellement formé de gaz, mais aussi de poussières et de particules énergétiques, le tout étant immergé dans un champ magnétique. Il est en interaction permanente avec les étoiles qui y naissent, y vivent et y meurent. C'est également en son sein que se produisent les interactions chimiques qui donnent naissance à des molécules très complexes.

La présence de matière dans les espaces interstellaires, déjà suggérée par l'existence de zones sombres dans le ciel, fut clairement démontrée par Robert Trumpler dans les années 1930. Cet astronome américain s'intéressait à la distance de certains amas d'étoiles. En faisant l'hypothèse que tous les amas avaient la même luminosité intrinsèque et la même taille, il utilisait deux méthodes pour déterminer leur distance. L'une s'appuyait sur la mesure de leur diamètre angulaire, l'autre sur la détermination de leur luminosité apparente. Robert Trumpler se rendit compte que les deux méthodes donnaient des résultats similaires pour les amas proches, mais très différents pour les plus éloignés. Dans ce dernier cas, la luminosité apparente était nettement plus faible que ce que l'effet de distance pouvait justifier. La lumière qui nous provenait de ces amas éloignés était donc atténuée lors de son trajet, ce qui ne pouvait s'expliquer que par la présence dans des régions apparemment vides d'un milieu qui absorbait la lumière ou la diffusait.



NGC 1999

Nous savons maintenant que ce phénomène, appelé l'extinction interstellaire, est dû à la présence de poussières qui diffusent la lumière. Une partie du rayonnement qui nous provient des amas et de tous les astres éloignés en général est déviée de sa trajectoire et perdue pour nos télescopes, ce qui explique que la luminosité apparente des objets les plus lointains est plus faible que prévue.

Un deuxième phénomène associé à la présence de matière entre les étoiles est le rougissement interstellaire. Celui-ci est dû au fait que la diffusion et l'extinction dépendent fortement de la longueur d'onde et sont plus marquées dans le bleu que dans le rouge. La forme générale du spectre d'une étoile est donc affectée par la poussière interstellaire. L'intensité dans le bleu diminue beaucoup, alors que l'intensité dans le rouge n'est que peu affectée. Pour un observateur terrestre, les étoiles apparaissent plus rouges qu'elles ne sont réellement.

Notons que le même phénomène est en jeu pour le Soleil. L'atmosphère terrestre diffuse plus la lumière solaire dans le bleu que dans le rouge. Lorsque notre étoile est basse sur l'horizon, sa lumière traverse une couche d'air très épaisse, ce qui explique son aspect rougeâtre. La lumière diffusée est quant à elle surtout bleue, ce qui donne à notre ciel sa couleur caractéristique.

Dans certaines conditions, la poussière interstellaire est directement observable. C'est le cas lorsqu'un nuage de poussière se trouve suffisamment proche d'une étoile et diffuse la lumière de celle-ci. Le nuage émet alors un rayonnement bleuâtre caractéristique et l'on parle d'une nébuleuse par réflexion.

Bien qu'elles soient responsables des effets les plus visibles du milieu interstellaire, les poussières ne représentent qu'environ un pour cent de sa masse. Leur nature précise a été déterminé en étudiant la façon dont elles diffusent la lumière des étoiles. Il a ainsi été mis en évidence qu'il s'agit surtout de petits grains solides dont les dimensions sont inférieures à un millionième de mètre. Ces grains sont composés essentiellement de carbone, d'oxygène, de silicium et de fer, et généralement entourés d'une fine enveloppe de glaces d'eau et d'ammoniac.

Les poussières ne se forment pas dans le milieu interstellaire lui-même car celui-ci est bien trop ténu pour que les rencontres de molécules y soient nombreuses.

Les poussières se forment en fait dans le voisinage des étoiles en fin de vie, lorsque d'énormes quantités de matière sont éjectées, soit sous forme de vent stellaire, soit lors de l'explosion de supernovae. A bonne distance de l'étoile, la température est suffisamment basse pour que la matière éjectée se retrouve sous forme d'atomes. La densité y est également assez élevée pour que ces atomes puissent s'associer et donner naissance à des molécules complexes, puis à de minuscules grains de poussières. Ceux-ci continuent alors à s'éloigner de l'étoile et finissent par se diluer dans le milieu interstellaire.

Séance 2 : Le gaz interstellaire

Si les poussières ont un effet plus visible que le gaz, c'est ce dernier qui constitue 99 pour cent de la masse du milieu interstellaire. Suivant la température et la densité, le gaz, essentiellement de l'hydrogène, se trouve sous forme d'atomes, d'ions ou de molécules.

Hydrogène atomique

Les régions de température et de densité moyennes sont formées d'hydrogène atomique. Sous cette forme, le gaz n'émet pas de rayonnement visible, ce qui complique son étude. Il a donc fallu attendre l'avènement de la radioastronomie pour pouvoir observer ces régions et déterminer leurs propriétés. En effet, l'atome d'hydrogène présente une émission dans le domaine radio à une longueur d'onde de 21 centimètres. Ce rayonnement, lié à une interaction d'origine quantique entre le proton et l'électron qui forment un atome d'hydrogène, a été détecté pour la première fois en 1951. Il a depuis lors permis d'étudier de nombreuses propriétés des régions d'hydrogène atomique comme leur distribution, leur température, leur densité, ainsi que leur mouvement.

Deux types différents de régions remplies d'hydrogène atomique ont été mis en évidence. D'abord des nuages froids à environ 100 kelvins, appelés régions HI.

Ces nuages ont chacun une cinquantaine de masses solaires et une densité de l'ordre de plusieurs atomes par centimètre cube. En guise de comparaison, la densité de l'air que nous respirons est d'un milliard de milliards de molécules par centimètre cube. Le deuxième type est un milieu plus chaud à quelques milliers de kelvins mais moins dense, avec moins d'un atome par centimètre cube. C'est dans ce milieu que baignent les régions HI.



Nébuleuse de la tête de cheval

Régions ionisées

Le milieu interstellaire contient également des régions où l'hydrogène se trouve sous forme d'ions. Électrons et protons ne sont alors plus associés au sein d'un atome, mais sont séparés et libres. Ces régions ont une température moyenne de 10 000 kelvins. Elles ne naissent que dans des environnements très particuliers.

C'est par exemple le cas dans le voisinage des étoiles massives émettant de grandes quantités de rayons gamma ou bien dans des régions traversées par une onde de choc. Une autre possibilité concerne la matière éjectée lors d'une

explosion de supernova. Comme nous l'avons vu, le gaz de l'étoile est éjecté à très grande vitesse. Lorsque ce gaz rencontre le milieu interstellaire, des forces de friction apparaissent qui chauffent le gaz et l'ionisent. Ce processus conduit à des filaments brillants qui forment une magnifique coquille autour du reste de l'étoile.

Des conditions encore plus extrêmes que les précédentes ont été révélées par les missions spatiales d'observation dans les courtes longueurs d'onde. Celles-ci ont mis en évidence un fond de rayons X provenant de toutes les directions du ciel.

Ce fond diffus est lié à la présence tout autour de nous d'un gaz très chaud, à plus d'un million de kelvins, appelé le gaz coronal. Son origine est probablement liée aux explosions de supernovae car lors d'un tel événement, une bulle de gaz peu dense mais extrêmement chaude, apparaît et s'étend autour de l'étoile. Il est probable que de nombreuses bulles de ce type existent dans le voisinage du Soleil et que la somme de leur rayonnement est à l'origine du fond diffus dans les rayons X.

Les missions spatiales ont en particulier mis en évidence la Bulle Locale, une région de 100 parsecs de diamètre, qui contient le Soleil et dans laquelle la densité de gaz est plus faible qu'en moyenne. Certains astronomes pensent que cette bulle est liée à l'explosion d'une supernova proche dont le pulsar de Geminga, une source très intense de rayons gamma, est le possible résidu.

Hydrogène moléculaire

La dernière forme sous laquelle la matière interstellaire peut se présenter est le nuage moléculaire, dans lequel les atomes se sont associés pour former des molécules. La température de ces nuages se situe à une dizaine de degrés du zéro absolu et leur densité est de l'ordre du millier de molécules par centimètre cube. Constitués essentiellement d'hydrogène moléculaire (H_2), ces nuages sont difficiles à observer. En effet, l'hydrogène sous forme de molécule n'émet pas de rayonnement facilement détectable. Il faut donc avoir recours à un autre constituant de ces nuages, le monoxyde de carbone (CO), qui émet un rayonnement à des longueurs d'onde de l'ordre du millimètre.

L'étude des nuages moléculaires a commencé au milieu des années 1970. Elle a révélé que la grande majorité de l'hydrogène moléculaire se trouve dans des nuages gigantesques dont la taille est comprise entre 10 et 100 parsecs. Ces nuages moléculaires géants ont une masse entre 100 000 et un million de masses solaires et l'on en dénombre environ 5000 dans notre galaxie.

D'autres observations ont révélé la présence de près d'une centaine de molécules différentes dans ces nuages. On y trouve de nombreuses molécules organiques, en particulier certaines qui sont essentielles à la vie. Les nuages moléculaires contiennent également des poussières. Du fait de leur densité relativement élevée, ces nuages sont opaques et apparaissent donc dans le ciel comme des zones sombres, des trous dans la distribution des étoiles. Un exemple bien connu est la nébuleuse de la Tête de Cheval.

