



NUAGES INTERSTELLAIRES ET NEBULEUSES

P. Sogorb

I. INTRODUCTION

Les milliards d'étoiles qui forment les galaxies, baignent dans un milieu interstellaire qui représente, dans le cas de notre Galaxie, 10 % de la masse des étoiles.

Des étoiles se forment à partir de ce milieu, vivent et meurent. De la matière provenant des étoiles est réinjectée dans le milieu interstellaire, qui, parfois, se condense pour former une nouvelle génération d'étoiles.

La matière interstellaire se concentre sous forme de nuages composés essentiellement d'hydrogène, aux contours irréguliers, à l'aspect nébuleux.

II. STRUCTURE DU MILIEU INTERSTELLAIRE

La plus grande partie du volume interstellaire est occupée par un gaz très chaud et très dilué produit par l'explosion d'étoiles et les vents violents émis par les astres de grande masse. Le reste du volume représente les nuages de gaz et de poussières interstellaires plus ou moins grands, plus ou moins dense.

Ces nuages, sauf les plus petits, possèdent un noyau dense et froid entouré d'une enveloppe plus chaude. En s'éloignant du centre, la température augmente tandis que la densité diminue.

Le plus souvent, les nuages de petite taille sont absorbés par les plus gros. Lorsqu'ils sont de taille voisine, ils subissent des collisions et se fragmentent, ou fusionnent.

C'est dans le noyau froid, au centre, que se forment les raies d'absorption. En s'éloignant, la température augmente ainsi que l'ionisation, et la densité diminue.

III. REPARTITION DE LA MATIERE INTERSTELLAIRE

Elle est concentrée dans les bras de la galaxie. Le nombre de nuages par 1 000 parsecs est voisin de 7 ou 8. Ces nuages sont présents dans tout le disque galactique et les densités maximales atteintes sont comprises entre 1 000 et 10 000 atomes d'hydrogène par cm^3 .

IV. COMPOSITION DES NUAGES

Ceux ci sont composés essentiellement de grains de poussières, de gaz, et de molécules.

IV.1 Les grains de poussières interstellaires.

La dimension de ces grains est comprise en 200 et 1 000 angströms. Leur composition exacte est inconnue mais l'étude la courbe d'absorption ainsi que les propriétés du rayonnement qui les traverse permet de penser qu'ils peuvent être formés de graphite enrobé de glace, de carbure de silicium, ou de porphyrine.

L'orientation des grains de poussière se fait perpendiculairement au champ magnétique interstellaire, ce qui se traduit par une polarisation de la lumière des étoiles situées derrière.

La lumière non polarisée provenant d'une étoile oscille dans des directions perpendiculaires à la direction de propagation. En traversant le nuage, la lumière est polarisée c'est-à-dire que les oscillations dans une direction déterminée dominant.

IV.2 Les gaz

On trouve en particulier du sodium., du calcium, du fer et du titane ionisé. Cependant, le gaz le plus répandu est l'hydrogène sous sa forme neutre ou moléculaire.

IV.3 Les molécules

La découverte la plus importante de ces dernières années concerne la présence de molécules complexes dans les nuages interstellaires. On pense que de 10 à 50 % du gaz est moléculaire et non atomique.

On a dénombré une soixantaine de molécules différentes.

Le complexe moléculaire dans la constellation de la Licorne est un mélange de poussière et de gaz moléculaire à quelque 2 600 années-lumière du système solaire. La lumière est arrêtée par la poussière. L'extension du complexe est mise en évidence par la présence de molécules de monoxyde de carbone.

V. LES DIFFERENTS TYPES DE NEBULEUSES

Comme on l'a vu, la matière interstellaire se concentre sous forme de nuages composés essentiellement de poussières, de gaz et de molécules.

Ces nuages seront lumineux au voisinage d'étoiles très chaudes, ou obscures en l'absence d'étoiles proches ou si la poussière est très dense.

V.1 Les nébuleuses obscures

La matière interstellaire obscure existe sous la forme de nuages (région d'absorption) ou dispersée dans l'ensemble de la galaxie.

Les nuages sont concentrés dans le plan galactique. La lumière provenant de galaxies ou d'objets extragalactiques est cachée par la matière obscure.

Il existe environ 10 de ces nuages obscurs par 1 000 parsecs. Leur densité est égal à 10 atomes au cm^3 et leur vitesse de quelques km/s.

Ces objets sont très visibles lorsqu'ils se détachent sur un fond d'étoiles. Le plus célèbre d'entre eux est certainement la nébuleuse de la tête de cheval située dans Orion. Composée essentiellement de poussière, elle obscurcit les étoiles situées derrière. Le nuage sombre se détache sur un fond lumineux assez uniforme qui est une nébuleuse gazeuse très diffuse en émission que nous étudierons plus loin. La tête de cheval n'est en fait qu'une protubérance d'un immense nuage sombre.

Il arrive également que la matière interstellaire soit très diluée et ne permette pas une observation directe des phénomènes d'absorption de la lumière. Cependant, différentes techniques mettent en évidence et mesurent les effets sur la lumière :

Ces effets sont de trois types

- l'absorption interstellaire
- le rougissement
- les raies d'absorption

V.1.1. L'absorption interstellaire

Les poussières obscurcissent les étoiles devant lesquelles elles s'interposent. Ces astres doivent donc paraître moins lumineux qu'ils ne le sont en réalité, si l'on tient compte de leur éclat absolu et de leur distance.

Toutefois, il est très difficile de détecter cet effet sur des étoiles très éloignées.

V.1.2. Le rougissement

La matière interstellaire absorbe principalement les radiations de petites longueurs d'ondes. Par exemple, la région centrale de notre Galaxie ne montre que les étoiles proches. Le centre galactique n'apparaît pas. Par contre, un cliché infra-rouge montre quantité d'étoiles optiquement invisibles.

Ainsi donc, l'absorption se manifeste surtout dans l'extrémité violette du spectre ce qui augmente l'indice de couleur d'une étoile, jusqu'à la rougir.

V.1.3 Les raies d'absorption

La matière se manifeste par des raies d'absorption dans le spectre des étoiles situées derrière : raies de sodium neutre, de calcium ionisé, de fer, de titane...

Ces raies sont particulièrement faciles à identifier lorsqu'elles apparaissent dans le spectre d'étoiles doubles. Un couple stellaire est représenté par ses composantes dans une position telle que les raies spectrales se dédoublent. Sans matière interstellaire entre l'étoile et nous, les raies sont toutes dédoublées. Si la lumière stellaire traverse un nuage, on voit apparaître une raie non dédoublée supplémentaire correspondant à un élément chimique présent dans le nuage.

C'est ainsi qu'on observa dès 1904, une raie K du calcium ionisé dans le spectre de l'étoile téta orionis, la plus nordique des trois étoiles formant le baudrier d'Orion.

V.2 Les nébuleuses brillantes

Elles sont de deux types

- les nébuleuses brillantes par suite de chocs
- les nébuleuses brillantes par la proximité d'étoiles qu'elles éclairent

V.2.1 Les nébuleuses brillantes par suite de chocs

Dans le cas de la Dentelle du Cygne c'est la friction entre la matière éjectée par une supernova et la matière interstellaire avoisinante au repos qui échauffe et excite la matière.

Entre les étoiles de l'amas des PLEIADES, se propagent des ondes de choc, d'où formation de stries brillantes très fines.

V.2.2 Les nébuleuses brillantes par la proximité d'étoiles

C'est le cas le plus fréquent. Le rayonnement produit peut être lumineux ou radio.

V.2.2.1 Le rayonnement lumineux

Ce rayonnement est produit par l'excitation des gaz par des étoiles proches. Certains nuages réfléchissent simplement la lumière de l'étoile. On voit alors un spectre identique à celui de l'étoile qui éclaire la nébuleuse. D'autres nuages absorbent la lumière stellaire et la ré-emettent avec une longueur d'onde caractéristique. Le spectre se distingue alors tout à fait de celui du spectre stellaire.

V.2.2.1.1 Les nébuleuses émissives ou diffuses

Plusieurs phénomènes expliquent l'émission des raies spectrales caractéristiques.

- la photo-ionisation et la recombinaison

Le rayonnement ultra-violet émis par une étoile très chaude (100 000 K) ionise le gaz en arrachant un ou plusieurs électrons de l'atome. Dans le cas de l'hydrogène, l'électron libre peut interagir de trois façons avec le gaz ionisé :

a- L'électron libre peut être capturé par un proton pour former un nouvel atome d'hydrogène neutre. L'électron va alors retomber en cascade vers un plus bas niveau d'énergie avec émission de rayonnement caractéristique visible sur le spectre.

b- L'électron libre peut également exciter un atome d'oxygène ionisé par exemple. La collision peut exciter un électron de l'ion vers un niveau d'énergie plus élevé duquel il peut redescendre en émettant de l'énergie sous forme de lumière visible.

c- Enfin, les électrons libres peuvent interagir entre eux, portant ainsi le gaz de la nébuleuse à une température d'environ 10 000 degrés K.

L'excitation

Un atome d'hydrogène peut être excité par un photon émis par une étoile. L'absorption du photon se traduit par la transition de l'électron vers des niveaux d'énergie plus élevés. L'électron reste un court instant au niveau le plus élevé et redescend en cascades vers un niveau d'énergie plus faible, en émettant un quantum d'énergie qui entraîne l'apparition d'une raie bien détectée dans le spectre.

La durée de vie d'un état excité est d'environ 10^{-8} s. Dans le vide interstellaire, la durée de vie peut être beaucoup plus longue. Le passage du niveau métastable au niveau fondamental se traduit par l'émission de raies dites « interdites » car impossible à émettre sur terre. L'oxygène ionisé 2 fois émet une raie interdite dans le violet.

La fluorescence

Dans certains cas, les atomes absorbent des photons ultra-violet et les réémettent dans le spectre visible par coïncidence fortuite de niveau.

V.2.2.1.2 Les nébuleuses par réflexion

Comme on l'a vu, les nébuleuses par réflexion ne produisent pas elles même de rayonnement, mais diffusent et réfléchissent uniquement la lumière d'étoiles proches. Le cas le plus typique est celui des PLEIADES.

On remarquera que la coexistence de nébuleuses émissives et par réflexion est possible.

V.2.2.2 Le rayonnement radio

Les électrons libres d'une nébuleuse passent au voisinage d'atomes ionisés. Si la vitesse de l'électron est trop grande, il n'y a pas recombinaison mais émission d'un photon de basse fréquence radio, phénomène connu sous le nom de rayonnement de freinage ou "free-free".

L'émission radio est distribuée sur tout le ciel. Elle est maximum sur le plan galactique et considérablement renforcée par d'autres sources radio comme les restes de supernovae, noyau galactique., etc...

V.2.3 Les différents types de nébuleuses brillantes

On peut classer les nébuleuses brillantes en trois grandes catégories :

- Les grands nuages d'hydrogène
- Les nébuleuses planétaires
- les restes de supernovae

V.2.3.1 Les nuages d'hydrogène

Ils sont de deux types suivant la température et la densité qui y règnent. Les régions HI sont constituées principalement d'hydrogène neutre de faible température et de faible densité. Les régions HII sont composées d'hydrogène ionisé de très haute température. Ce sont les plus répandues.

Des étoiles très chaudes illuminent ces nuages. Plus l'étoile est chaude, plus la quantité de rayonnement ultra-violet est grande, donc plus le nuage d'hydrogène est ionisé, et donc émetteur de rayonnement.

La plus célèbre et peut-être la plus belle des nébuleuses brillantes est certainement ORION. Les gaz sont excités par des étoiles chaudes de type spectral O et B. Les contours verts illustrent la distribution des ondes radio.

Sur les photos de M42, les atténuations de la lumière par la poussière interstellaire apparaît. La poussière des régions sombres à l'est du cœur de la Nébuleuse est visible.

Située à 1 500 années-lumière, M42 (ou NGC1976), elle se trouve en dessous des trois étoiles formant le ceinture d'Orion bien visible l'hiver au Sud. L'aspect tourmenté de la nébuleuse est dû au mouvement des gaz excités. La couleur rouge est due à l'émission de la raie H α de l'hydrogène.

La nébuleuse NORTH AMERICA (NGC7000) dans la constellation du Cygne doit son nom à sa forme très caractéristique, que lui confère l'hydrogène ionisé qui donne cette couleur rose brillant à la partie de la nébuleuse qui ressemble à la carte du continent nord américain. En bas, à droite, la forme du golfe du Mexique est donnée par un nuage de poussière qui se remarque par le fait que la densité d'étoiles est beaucoup plus faible qu'en haut à gauche du cliché. Distante de 2 300 années lumière, la nébuleuse est facilement observable à proximité de l'étoile DENEBO.

La nébuleuse TRIFIDE (NGC 6514) est distante d'environ 6 500 années de lumière dans la constellation du Sagittaire. L'émission de couleurs rosées est due à l'hydrogène ionisé par un petit groupe d'étoiles située à l'intérieur de la masse gazeuse. La région bleue, au nord, est une nébuleuse par réflexion. Les bandes noires sont dues à la poussière interstellaire.

La superbe nébuleuse appelée NGC 2237 est située à 2 700 années lumière dans la constellation de la licorne. La nébuleuse de la Rosette est un objet sphérique constitué de gaz ionisé. Le trou central a un diamètre d'environ 10 années de lumière. La pression exercée par les jeunes étoiles situées derrière a chassé le gaz à la vitesse de quelques milliers de kilomètres par secondes.

V.2.3.1 Les nébuleuses planétaires

Le cas des nébuleuses planétaires est assez voisin de celui des régions HII. L'origine des gaz entourant l'étoile centrale est cependant différente. Dans les nuages d'hydrogène, la présence d'une étoile à proximité est fortuite alors que la matière entourant l'étoile d'une nébuleuse planétaire a été éjectée par celle-ci. Les zones internes proches de l'étoile ont généralement une couleur verte qui est celle du rayonnement émis par l'oxygène ionisé deux fois. Les régions externes montrent les raies d'émission de l'oxygène simplement ionisé.

Environ 1 200 nébuleuses planétaires ont été identifiées mais on estime leur nombre dans notre galaxie à environ 50 000.

La nébuleuse planétaire de la LYRE fut découverte en 1799 par Antoine DARGUIER qui, en observant sa forme, lui donna le nom de nébuleuse planétaire. M57 est distante de 2 000 années de lumière du Soleil. Elle a un diamètre d'environ 0,5 année-lumière. L'étoile centrale a une température de 70 000 K. L'anneau est un peu elliptique car le système n'est pas exactement vu du dessus mais légèrement par la tranche. La vitesse d'expansion est estimée à 19 km/s ce qui conduit à penser que l'étoile a commencé à expulser son atmosphère il y a environ 6 000 ans.

Autre nébuleuse planétaire célèbre : DUMBELL dans la constellation du PETIT RENARD. Située à 900 années de lumière, elle fut découverte par MESSIER en 1764.

V.2.3.3 Les restes de Supernova

Les étoiles gigantesques finissent leur vie dans une explosion fantastique. Une fraction importante de la masse de l'étoile est éjectée à très grande vitesse.

La nébuleuse du Crabe appartient à cette catégorie. Elle résulte de l'explosion d'une étoile qui a eu lieu en 1054. L'étoile s'est transformée en étoile à neutrons. Le gaz est ionisé par la radiation synchrotron émise par des électrons se déplaçant à grande vitesse dans un champ magnétique.

Les filaments orange sont animés d'une vitesse de 1 500 km/s. Ils sont chauffés et ionisés par le rayonnement de la nébuleuse.

La dentelle du cygne représente la phase avancée de l'évolution d'une supernova, prête à se fondre dans le milieu interstellaire. Comme pour la nébuleuse du Crabe, l'étoile qui a explosé il y a environ 100 000 ans s'est transformée en Pulsar. La vitesse d'expansion des gaz et poussières a du être voisine de 10 000 km/s mais elle est tombée à environ 100 km/s.

Le gaz en expansion entre en collision avec le gaz interstellaire et l'ionise. Son refroidissement ultérieur, après le passage du gaz, s'accompagne de l'émission de lumière qui le rend visible.

Le reste de la supernovae CASSIOPEIA A est très jeune, l'explosion remontant à environ 300 ans. L'émission radio provient de la région centrale. Contrairement à la nébuleuse du CRABE, CASSIOPEIA ne contient pas de pulsar.

Résumons nous :

La matière interstellaire est présente sous forme de nuages ou dispersée. Elle est composée de gaz, de molécules, et de poussières.

Les nébuleuses peuvent être obscures ou brillantes.

Lorsque la matière obscure est concentrée, elle se détache sur le fond d'étoiles située derrière. Exemple : la tête de cheval dans la constellation d'ORION.

Si la matière est plus diluée, sa détection est plus difficile. Cependant, plusieurs phénomènes permettent de la détecter : absorption interstellaire, rougissement, raies d'absorption.

Les nébuleuses brillantes ou lumineuses sont principalement composées de gaz. La lumière qu'elles émettent directement ou indirectement provient d'une ou plusieurs étoiles qui les éclairent.

Dans le cas d'une Nébuleuse par réflexion, la lumière est diffusée par les particules. Les nébuleuses émissives produisent elles-mêmes un rayonnement radio ou visibles. L'émission de raies spectrales propres à la nébuleuse est due à la photo-ionisation et recombinaison, excitation de raies interdites, fluorescence.

Il existe différents types de nébuleuses émissives. Les régions HII ou régions d'hydrogène ionisé (ORION, NORTH AMERICA, etc...), les nébuleuses planétaires, les restes de supernovas.