

LES NEBULEUSES

CONFERENCE du

25 MARS 2016

par

Mr HILLAIRET



*Les Piliers de la Création - Nébuleuse de l'Aigle
Amas ouvert M16*

Les nébuleuses n'avaient, pour la plupart des astronomes du 18^{ème}, qu'un intérêt limité. Avec leurs instruments, lunettes et modestes télescopes, ils ne voyaient que des objets flous. Au 18^{ème} siècle et même au 19^{ème}, la recherche de pointe était axée sur les comètes, objets sur lesquels les astronomes portaient un vif intérêt.

Charles Messier (1730-1817), redoutable chasseur de comètes, que Louis XV surnommait le "Furet des Comètes", avait, à son actif, découvert treize de ces objets errants et découvert, conjointement avec d'autres astronomes (dont Pierre Méchain), neuf autres comètes.

Les nébuleuses étant facilement confondues avec ces dernières, Charles Messier entreprit, dès 1771, de créer une liste d'astres avec lesquels il ne fallait pas perdre son temps, afin d'aider les chercheurs de comètes à ne pas confondre celles-ci avec divers objets diffus dont la nature était alors inconnue (galaxies, divers types de nébuleuses et amas d'étoiles) mais fixes par rapport aux étoiles.

Cette liste de 103 objets, publiée pour la première fois dans "*La Connaissance des Temps*" en 1784, a été portée à 110 par son collègue P. Méchain. Cette collecte des objets célestes est de nature très diverse : nébuleuses de gaz, amas d'étoiles de notre propre galaxie mais aussi galaxies à part entière.

Cette liste, toujours d'actualité, d'objets Messiers constitue la porte d'entrée du ciel profond pour les amateurs d'astronomie. Elle est composée :

- 40 Galaxies
- 28 Amas ouverts
- 29 Amas globulaires
- 1 Etoile binaire
- 5 Nébuleuses
- 2 Nébuleuses gazeuses avec amas ouverts
- 4 Nébuleuses planétaires
- 1 Rémanent de Super Nova



William Herschell (1738-1822) (contemporain de Messier) sonde empiriquement la Voie Lactée, étudie tout particulièrement les groupes stellaires et les nébuleuses et remarque :

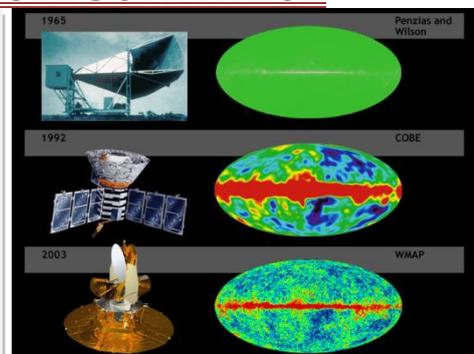
- qu'une nébuleuse qui paraissait floue se résolvait en étoiles individuelles dans un télescope plus puissant.
- qu'une fraction importante "d'astres flous" était fondamentalement non stellaire.
- que certaines nébuleuses avaient une structure de forme symétrique mais floue entourant une étoile.

Les progrès scientifiques des deux derniers siècles, les performances de la nouvelle génération de télescopes géants, les nouvelles technologies : spectroscopie, astrophotographie, décryptage du spectre électromagnétique (des rayons Gamma à l'Infrarouge et les ondes radio) ont permis de faire émerger de cette multitude de nébuleuses diffuses des différences spécifiques.



LA NEBULEUSE PRIMORDIALE ou NUCLEOSYNTHESE

Moins de 380 000 ans après le Big bang, l'Univers est composé d'un plasma d'électrons et de noyaux atomiques ; il est alors mille fois plus chaud et un milliard de fois plus dense qu'aujourd'hui. Durant la phase qui commence environ une seconde après le Big bang et qui dure environ 3 minutes, la température chute aux alentours d'un milliard de degrés. Les nucléons peuvent se combiner pour former une grande majorité de noyaux d'hydrogène, un peu d'hélium et un soupçon de lithium. Il n'est pas possible, à cet instant, de former des noyaux atomiques plus lourds, plus gros que le lithium. Cette nucléosynthèse ou nébuleuse primordiale (étudiée par les sondes Cobe [1992], Whap [2003] et Planck [2009]) dont la prédiction, la compréhension et l'observation des conséquences représentent un des premiers accomplissements majeurs de la cosmologie moderne.



Pendant une certaine durée après le Big Bang , il n'y avait pas ou peu de structures dans l'Univers, et donc pas de galaxies.

Pour l'Univers, [essentiellement composé d'hydrogène, un peu d'hélium et très peu de lithium] commence ensuite une phase d'expansion et de refroidissement. Au fur et à mesure des agrégats de matière noire ont commencé à se condenser. Les fluctuations primordiales ont attiré, par gravitation, le gaz et la matière noire vers les zones les plus denses, ce qui a engendré les graines de ce qui allait plus tard devenir des galaxies. Au bout de plusieurs millions d'années, l'Univers est suffisamment froid pour que des molécules d'hydrogène se forment. Elles donneront naissance à d'immenses nuages appelés « nébuleuses », qui initient la formation des étoiles.



Le télescope SPATIAL WISE
deshabille la Voie Lactée

Observant le cosmos exclusivement dans les longueurs d'onde infrarouge, le télescope spatial WISE (Wide-field Infrared Survey Explorer) livre une gigantesque mosaïque de milliers d'images d'une partie de la Voie Lactée. Long parchemin où l'on peut y déchiffrer les turbulences interstellaires, cendres d'étoiles et multiples concentrations où se nouent le destin de futures étoiles. C'est un écheveau de gaz et de poussières à basse température, un vaste réseau de filaments ici mis au jour par les caméras du satellite WISE, sensible aux infrarouges submillimétrique.



NEBULEUSES EXTRAGALACTIQUES ou GALAXIES

Appelées "UNIVERS-ILES" par Kant, toujours appelées "NEBULEUSES " par Hubble jusqu'à la fin de sa vie, une quarantaine incluses dans la liste d'objets diffus par Messier, situées à de très grandes distances de la Voie Lactée, chacune résolue en milliards d'étoiles et apparaissant toutes comme de faibles lueurs, ces galaxies lointaines se comptent par milliards dans le Cosmos.

NEBULEUSES GAZEUSES GALACTIQUES

Une nébuleuse (du latin nebula, nuage) désigne, en astronomie, un objet céleste composé de gaz raréfié, ionisé et/ou de poussières interstellaires. Avant les années 1920, le terme désignait tout objet du ciel d'aspect diffus. Étudiées par des astrophysiciens spécialisés dans l'étude du milieu interstellaire, les nébuleuses jouent un rôle clé dans la formation des étoiles.

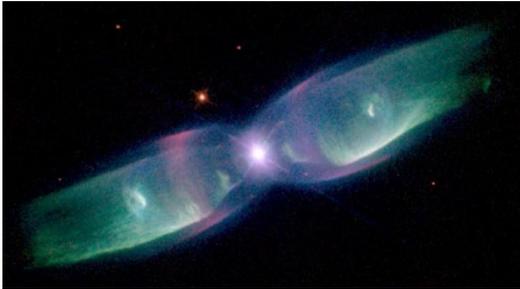
On distingue 2 grandes familles de nébuleuses :

les nébuleuses diffuses, qui émettent ou réfléchissent de la lumière,
les nébuleuses obscures, qui bloquent la lumière.

A- NEBULEUSES DIFFUSES

a) Nébuleuses Planétaires: (< 8 masses solaires)

Bien que Herschell les ait qualifiées de "planétaires", ce ne sont, en fait que de simples coquilles de gaz, éjectées puis éclairées par une géante rouge mourante expulsant ses couches extérieures en un nuage qui se dilate et qui va briller pendant des dizaines de milliers d'années.



Nébuleuse du Papillon
Constellation d'Ophiuchus

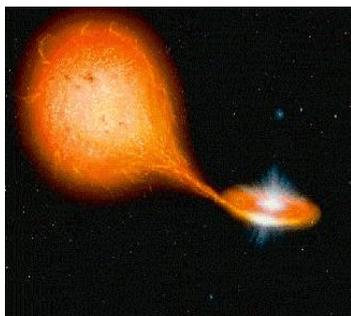
On peut citer : **M 57** l'Anneau de Fumée dans la Lyre
NGC 6543 l'Oeil de Chat dans le Dragon
M 97 Le Hibou dans la Grande Ourse
M 27 L'Haltère dans le Petit Renard

Elles sont toutes uniques, colorées, régulières, symétriques, biscornues, les figures qu'elles dessinent dans le ciel sont inexplicables. Photographiées en couleurs naturelles accentuées ou en fausses couleurs codées, elles sont un enchantement pour tous les astronomes et telle une fleur dans un bouquet, une nébuleuse planétaire se déploie dans l'espace.

b) Nébuleuses diffuses résidus de Supernovae

- Supernova de Type I - Thermonucléaire

Ce type de supernova n'a cours que dans un système multiple, il ne peut se déclencher pour un astre précurseur seul. Il implique essentiellement un couple d'étoiles dont l'une est un cadavre dégénéré, une naine blanche, et l'autre une étoile qui est suffisamment proche pour déverser du gaz sur son compagnon dégénéré par débordement de son lobe de Roche. Le cadavre dégénéré devient une gigantesque bombe thermonucléaire « amorcée » par l'effondrement gravitationnel.



Sous la pression thermique produite par la zone dégénérée, les couches supérieures sont soufflées, ce qui enlève l'état de dégénérescence des couches inférieures qui sont progressivement « épluchées ». Le cœur lui-même doit aussi atteindre très rapidement un point où l'état de dégénérescence disparaît, la pression redevient une fonction directe de la température et l'effondrement est inversé.



- Supernova de Type II - Effondrement du Cœur

La phase ultime de la vie d'une étoile massive (plus de 8 masses solaires) commence après que le cœur de fer et de nickel ^{56}Fe s'est construit par phases successives de réactions de fusion nucléaire. À la fin de la phase de fusion du fer, le cœur atteint la densité à laquelle la pression de dégénérescence des électrons domine (~ 1 tonne/cm 3). Le cœur se contracte et s'effondre sur lui-même, transformant le cœur en une étoile à neutrons de 10-20 km de diamètre et de la densité d'un noyau atomique (> 100 millions de tonnes/cm 3).



La nébuleuse du Crabe est le rémanent de la supernova SN 1054. Des chroniques chinoises rédigées sous le règne de l'empereur Song Renzong relatent qu'au mois de juillet 1054 une nouvelle étoile très brillante est apparue dans la constellation du Taureau. Cette supernova est restée visible en plein jour pendant trois semaines avec une magnitude comprise entre -3 et -5. Les débris de son explosion continuent de s'étendre à la vitesse de 1500 kilomètres par seconde. Ces débris qui forment l'actuelle nébuleuse du Crabe sont constitués d'hélium et d'hydrogène ionisés. Leur température est supérieure à 10.000 kelvins. Au centre de la nébuleuse du Crabe, dont la taille avoisine actuellement les 11 années-lumière, on trouve les restes de la supernova : un pulsar très énergétique qui tourne sur lui-même 30 fois par seconde et rayonne autant d'énergie que 100.000 soleils.

M1 Nébuleuse du Crabe - Constellation du Taureau

- Distance : ~ 6200 a.l.

Les dentelles du Cygne

- Hypernova

Quelques étoiles exceptionnellement massives peuvent produire une « hypernova » quand elles s'effondrent, un type d'explosion relativement nouveau et hautement théorique.

Dans une hypernova, le cœur de l'étoile s'effondre directement en un trou noir car il est devenu plus massif que la limite des « étoiles à neutrons ». Deux jets de plasma extrêmement énergétiques sont émis le long de l'axe de rotation de l'étoile à une vitesse proche de celle de la lumière.

Ces jets émettent d'intenses rayons gamma et pourraient expliquer l'origine des sursauts gamma. En effet, si l'observateur se trouve dans (ou proche de) l'axe des jets, il recevra un signal qui pourrait être capté depuis le fin fond de l'Univers (horizon cosmologique).

SN2007bi : Explosion en Supernova d'une étoile particulièrement massive qui eut lieu en 2007. Les données relevées furent tellement extrêmes que de nombreux chercheurs estiment que SN 2007bi pourrait être une supernova par **production de paires**.¹ Elle est apparue dans une galaxie naine riche en étoiles de type III, très massives et initialement dépourvues de métaux.

¹ **Une supernova par production de paires** est une théorie établie à la fin des années 1960 par Z. Barkat et ses collaborateurs, ainsi que Gary S. Fraley. Elle concernerait les étoiles particulièrement massives, excédant au moins 140 masses solaires. Contrairement aux supernovae "classiques" qui résultent soit d'un effondrement gravitationnel du cœur de l'étoile ou d'une réaction thermonucléaire liée à une trop grande "vampirisation" des couches externes d'une étoile par une naine blanche voisine, le déclencheur de la supernova par production de paires serait issu d'une réaction d'annihilation entre les électrons et leurs antiparticules: (matière/antimatière)

Un article publié le 15 janvier 2016 dans la revue Science fait état de la découverte de la supernova ASASSN-15lh considérée comme la plus lumineuse découverte à ce jour. Sa luminosité serait de 2×10^{38} W, soit 570 milliards de fois la luminosité solaire ($L_{\odot} = 3.82 \times 10^{26}$ W).

c) Nébuleuses diffuses par réflexion

En astronomie, les nébuleuses par réflexion sont des nuages de poussières qui réfléchissent la lumière d'une ou plusieurs étoiles voisines. Ces étoiles ne sont pas assez chaudes pour causer l'ionisation des gaz, comme dans le cas des nébuleuses en émission, mais sont assez lumineuses pour permettre une dispersion suffisante pour rendre la poussière visible. Les nébuleuses par réflexion sont habituellement bleues parce que la dispersion est plus efficace pour la lumière bleue que la rouge. Environ 500 nébuleuses par réflexion sont connues.



M 45 LES PLEIADES

Amas ouvert d'environ 3000 étoiles dont cinq que l'on distingue rapidement à l'œil nu puis au fur et mesure que l'œil s'accommode 10 à 11 étoiles sont visibles. L'éclat puissant de ces géantes bleues se réfléchit sur les minuscules poussières du nuage qu'elles traversent. Cet amas, âgé de 100 millions d'années, se déplace bien en groupe.

Amas ouvert d'étoiles qui s'observe dans la constellation du Taureau. Sa distance est estimée à environ 444a.l. Les premières photos de l'amas révèlent un nuage de poussière autour des étoiles. Cette nébuleuse réfléchit la lumière de ces étoiles, situées à proximité ou à l'intérieur. Cette nébuleuse n'est pas un reste du nuage de poussière originel qui a donné naissance aux Pléiades. En effet, les deux objets n'ont pas la même vitesse apparente. L'amas aura croisé ce nuage sur son chemin.

d) Nébuleuses diffuses en émission - Bulles de Wolf-Rayet

Une bulle de Wolf-Rayet est une nébuleuse en émission que l'on trouve autour de certaines étoiles Wolf-Rayet. Celles-ci comptent parmi les étoiles les plus massives connues (classe spectrale O ou B). Les réactions thermonucléaires en leur cœur libèrent alors une énergie bien supérieure à celle du Soleil, entraînant un vent solaire qui peut-être jusqu'à un milliard de fois plus énergétique que celui du Soleil. De grandes quantités de gaz sont alors soufflées et éjectées dans l'espace autour de l'étoile. Elles sont ensuite ionisées par l'important rayonnement ultraviolet dégagé par des étoiles de ce type. C'est cette enveloppe gazeuse (qui nous cache souvent l'étoile) que l'on nomme bulle de Wolf-Rayet.

Bien que ces objets présentent souvent une morphologie proche de celle des rémanents de supernova, il semble qu'on ne peut pas établir clairement de relation entre ces deux types d'objets puisque l'étoile Wolf-Rayet est amenée

à exploser en supernova ; il s'agit donc de deux stades différents d'évolution de l'étoile.

Les deux bulles de Wolf-Rayet les plus célèbres sont certainement la nébuleuse du Croissant (NGC 6888) et celle du Casque de Thor (NGC 2359).

NGC 2359 dans le Grand Chien, la nébuleuse brillante qui englobe l'un de ces astres rares.



Les étoiles de Wolf-Rayet représentent un type d'étoiles massives, très chaudes entourées d'une enveloppe gazeuse éjectée à grande vitesse. De masses comprises entre 25 et 50 masses solaires, elles correspondent à un stade d'évolution tardif de certaines étoiles O et B. Une phase qui ne dure que quelques centaines de milliers d'années mais pendant laquelle la perte de masse se révèle dix fois plus rapide que pour les étoiles massives ordinaires. Il s'ensuit que ces astres sont souvent entourés de la bulle de matière qu'ils ont expulsée, à l'instar de NGC 2359 dans le Grand Chien, la nébuleuse brillante qui englobe l'un de ces astres rares.

CASQUE de THOR

e) Nébuleuses diffuses en émission- Région HII/H α

En astronomie, les nébuleuses en émission sont un type de nébuleuses composées de nuages de gaz ionisé émettant de la lumière de couleurs variées — d'où leur nom. Généralement, une jeune étoile ionisera une partie du nuage qui l'a générée, mais seules les étoiles massives et chaudes peuvent apporter la quantité d'énergie exigée pour ioniser une partie significative d'un nuage interstellaire.



Cette nébuleuse est un vaste nuage de gaz et de poussière qui s'étend sur environ 100 années-lumière. Elle se situe à quelque 4500 années-lumière de la Terre dans la direction de la constellation de la Licorne. Au centre, se trouve un amas ouvert d'étoiles jeunes connu sous le nom de NGC 2244. Ces étoiles, qui se sont formées il y a environ 4 millions d'années, émettent un rayonnement ultraviolet qui ionise l'hydrogène du nuage environnant, ce qui donne cette couleur rouge.

Cette autre mosaïque de la nébuleuse de la Rosette la présente en fausse couleur où chaque couleur identifie un élément.

f) Nébuleuses particulières

Le vingtième objet du catalogue Messier (M20) est une nébuleuse diffuse située dans la constellation du Sagittaire au voisinage immédiat du bulbe central de la Galaxie. Assez connue comme une **nébuleuse en émission** traversée par une **nébuleuse obscure** digitée qui lui donne son aspect caractéristique, **ses régions externes constituent en outre une nébuleuse par réflexion** dont une étoile bleue relativement brillante, au nord, révèle la présence par un vaste halo diffus de même teinte centré sur cette étoile. Un système triple d'étoiles occupe le centre de la région émissive de la nébuleuse, à la manière du Trapèze de la nébuleuse d'Orion.

M 20 LA TRIFIDE



On peut citer également :

M 8 : La Lagune - Taille 110 a.l. -distance : 5000 a.l.

M 17: Omega - dans le Sagittaire - 5000 a.l. La couleur rouge de cette nébuleuse est celle de l'Hydrogène ionisé.

M 42: Orion - pépinière d'étoiles

M 43: Mairan - est en fait une partie de la Grande Nébuleuse d'Orion

M 78: Orion - La nébuleuse d'Orion est une des nébuleuses les plus brillantes du ciel, et peut être observée facilement à l'oeil nu et est sans doute la nébuleuse la plus activement étudiée du ciel.

B - NEBULEUSES OBSCURES

En astronomie, les nébuleuses sombres, nébuleuses obscures ou encore nébuleuses d'absorption sont des régions où les poussières du milieu interstellaire semblent se concentrer en grands nuages qui apparaissent en régions pauvres en étoiles. Pour Herschell, ces zones très sombres, ou pratiquement aucune étoile n'était visible, étaient des "tunnels" par lesquels on voyait l'extérieur de la Voie Lactée.

Les nébuleuses sombres peuvent être vues si elles obscurcissent une partie d'une nébuleuse en émission ou de réflexion, comme la nébuleuse de la Tête de Cheval ou la nébuleuse du Cône dans la constellation de Orion et de la licorne, ou si elles bloquent la lumière des étoiles en arrière-plan, ou comme le sac de charbon dans la constellation de la Croix du Sud.

La forme de tels nuages est très irrégulière : ils n'ont aucune frontière externe clairement définie et prennent parfois des formes contorsionnées. Les plus grandes nébuleuses sombres sont visibles à l'œil nu, apparaissant comme des zones sombres sur le fond plus lumineux de la Voie lactée.



La plus étonnante des nébuleuses occupe la plus belle constellation hivernale, celle d'Orion. Voici la Tête de cheval, connue également sous le nom de Barnard 33.

Barnard 33, la nébuleuse de la Tête de cheval, sous les rayons d'un projecteur céleste, l'étoile Alnitak.

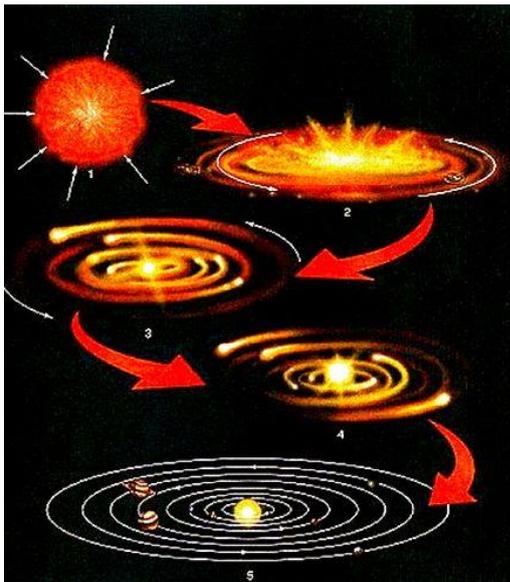
Pour la nébuleuse de la Tête de Cheval (Barnard 33) qu'on commence à peine à distinguer dans un télescope de 40 centimètres de diamètre, il faut donc, comme souvent en astronomie, avoir recours à la photographie, qui grâce à l'accumulation des photons au cours de longues poses, permet de révéler l'aspect de ces nébuleuses.

C - AVENIR des NEBULEUSES

L'évolution stellaire concerne toute la vie des étoiles, de leur naissance à leur mort. Chaque phase se divise elle-même en diverses étapes, certaines étant différentes selon la masse de l'étoile.

L'histoire complète d'une étoile peut se résumer par le schéma suivant :

Les nébuleuses apparaissent là où la matière stellaire, composée de gaz et de poussières, se condense. Ces mélanges occupent de vastes étendues de l'espace interstellaire et finissent par constituer 10% de la masse de notre Galaxie. En mouvement permanent et en constante évolution, ils absorbent les matériaux des étoiles qui meurent (éléments lourds) et forment dans ces nuages moléculaires des pouponnières d'étoiles.



Une étoile se formera à partir d'un nuage en effondrement, à la suite d'une perturbation environnementale (explosion de supernova par exemple, qui produit une onde de choc). Un nuage moléculaire en effondrement va donner naissance à une proto-étoile. Celle-ci, dont la source d'énergie est gravitationnelle, formera un disque protoplanétaire à l'image du système solaire.

De plus, comme le protosystème n'est pas rigide, un fort aplatissement se produit dans le plan perpendiculaire à l'axe de rotation. On se retrouve ainsi finalement avec une concentration de matière au centre, la protoétoile, entourée d'un disque de matière appelé le disque protoplanétaire.

Au sein de vastes nuages il y a formation de groupe d'étoiles qui deviendront soit des amas globulaires, soit des amas ouverts.