

Les ETOILES



Vie, moeurs et mort des étoiles.

Présentation :

- Dans le ciel, comment différencier « étoile » et « planète »
- Une étoile, qu'est-ce que c'est ?
- Les différentes classes d'étoiles.
- Naissance d'une étoile.
- Vie d'une étoile.
- Mort d'une étoile.
- ET après...

Vue d'ensemble

- Etoile : boule de gaz...mais lesquels ?
- Fusion thermonucléaire
- Gravité
- Géante rouge
- Etoile naine - naine blanche
- Supernovae - étoile à neutrons
- Trou noir stellaire....

Comment différencier les étoiles des planètes ?



Contrairement aux planètes, aux comètes, ...les étoiles « semblent » fixes dans le ciel (à l'échelle d'une vie humaine).

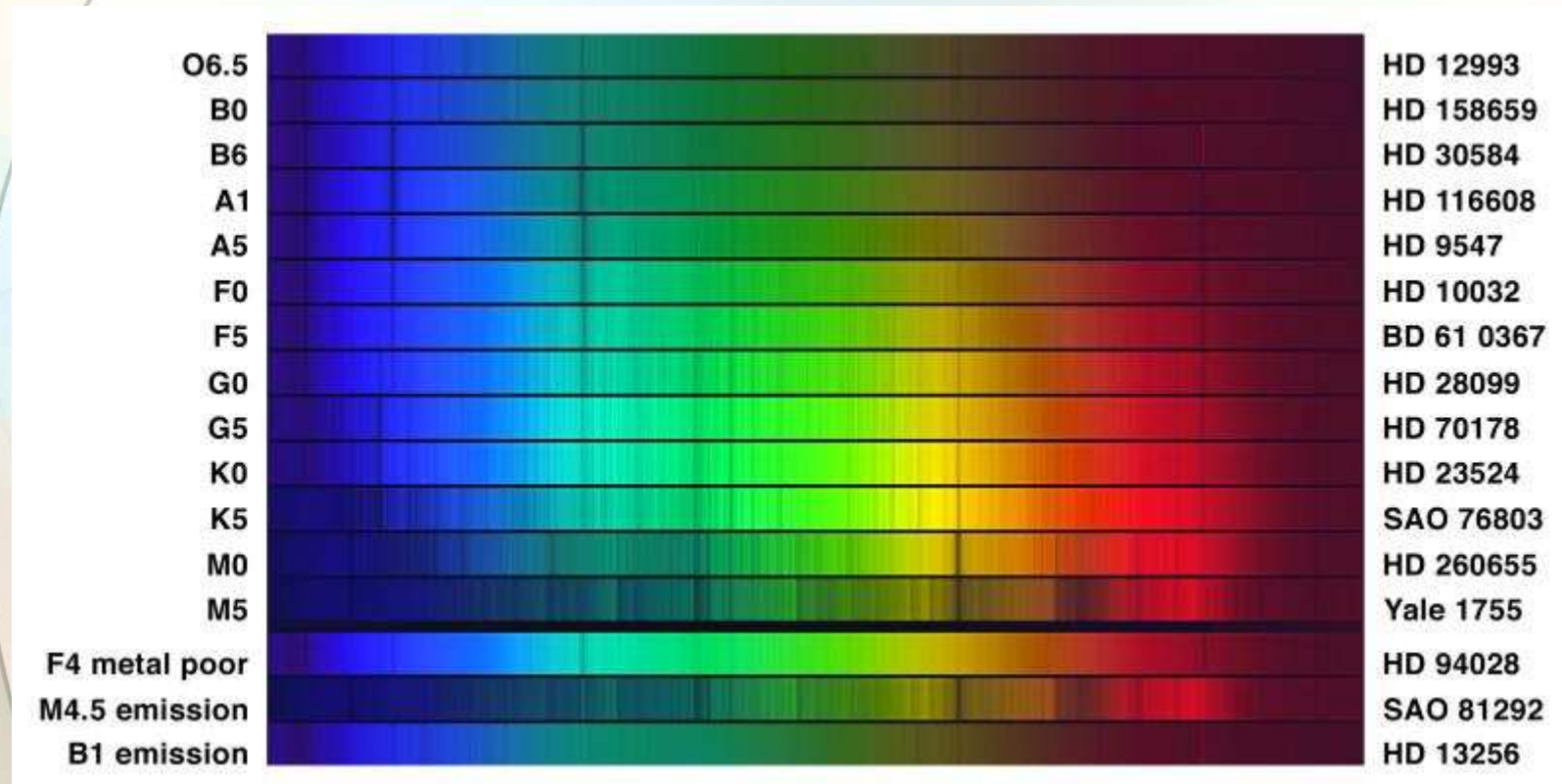
Une étoile, mais qu'est-ce que c'est ?



Après avoir longtemps imaginé que leur colossale énergie était le fruit de la combustion de charbon ou de pétrole, nous savons aujourd'hui que leur fonctionnement est plus proche de la bombe à hydrogène que de la centrale thermique.

En effet, on pourrait dire qu'une étoile est une boule de GAZ (hydrogène et hélium pour le Soleil) où règne un équilibre entre la gravité et la fusion thermonucléaire (nucléosynthèse).

Classification spectrale



Détails des classes spectrales.

Classe spectrale	Masse	Rayon	Luminosité	Température de surface (en degrés K)	Durée de vie (en millions d'années)
O5	32	18	600.000	40.000	1
B0	16	7.4	16.000	28.000	10
B5	6.5	3.8	600	15.500	100
A0	3.2	2.5	60	9.900	500
A5	2.1	1.7	20	8.500	1.000
F0	1.75	1.4	6	7.400	2.000
F5	1.25	1.2	3	6.600	4.000
G0	1.06	1.1	1.3	6.000	10.000
G2 <i>Soleil</i>	1	1	1	5.800	12.000
G5	0.92	0.9	0.8	5.500	15.000
K0	0.80	0.8	0.4	4.900	20.000 (1)
K5	0.69	0.7	0.1	4.100	30.000
M0	0.48	0.6	0.02	3.500	75.000
M5	0.20	0.3	0.001	2.800	200.000

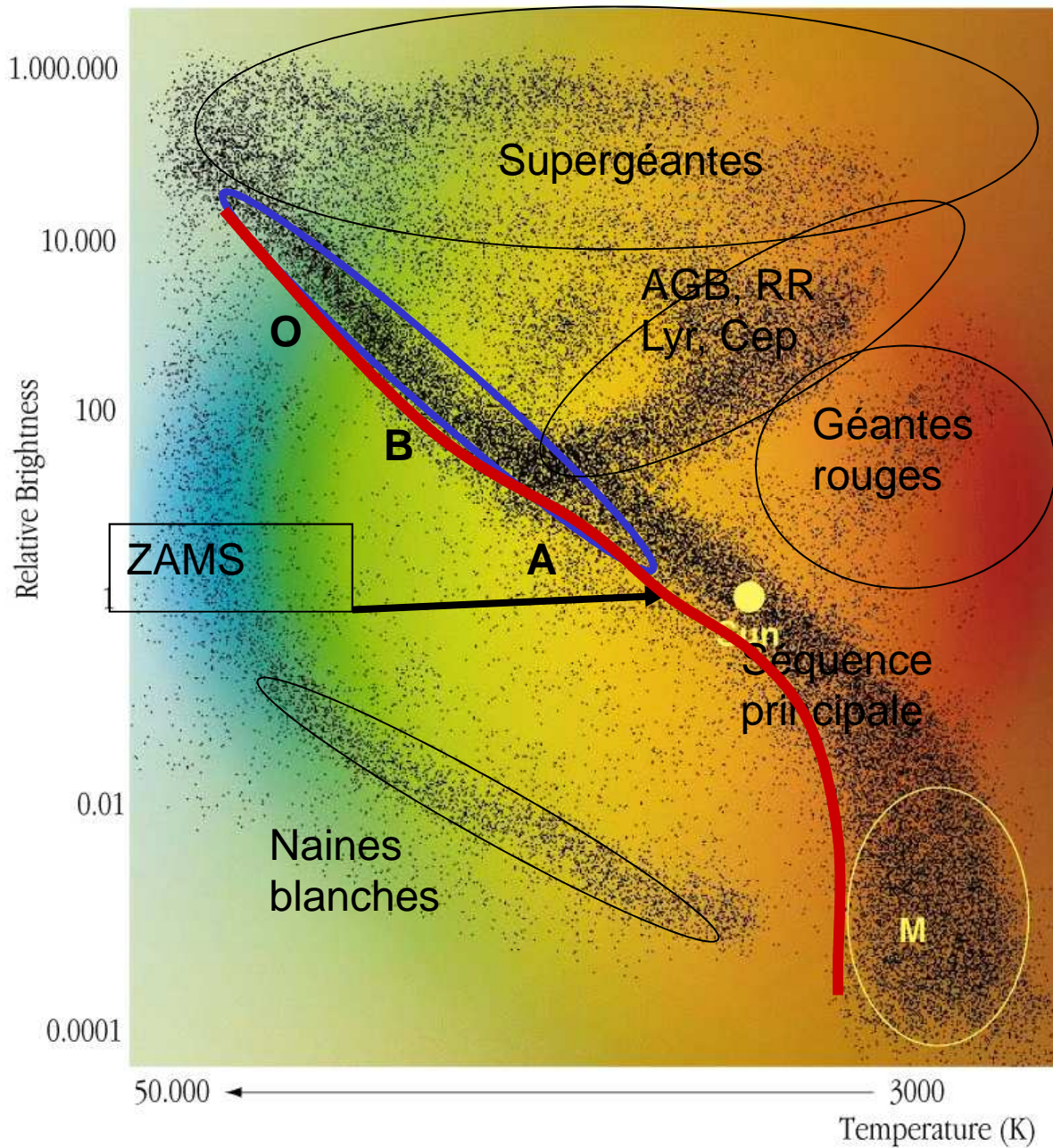
Les raies observables...

	Raies principales	Autres raies
O	Helium ionisé	Hélium neutre, faibles raies de l'hydrogène
B	Hélium neutre	Raies de l'hydrogène se renforçant dans les classes B6 à B9
A	Hydrogène très visible en A0, allant en décroissant vers A9	Raies du calcium ionisé de plus en plus fortes de A0 vers A9
F	Raies du calcium ionisé de plus en plus fortes	
G	Raies du calcium ionisé très marquées	Métaux, particulièrement le Fer
K	Fortes raies métalliques	Molécules CH et CN
M	Raies d'absorption de l'oxyde de titane	Nombreuses raies métalliques
C	Raies métalliques	Carbone
S	Raies métalliques	Oxyde de Zirconium, Yttrium, Baryum

Evolution stellaire

En très très résumé, juste à l'aide
d'un outil...

Diagramme Hertzsprung Russel (HR)



The "Hertzsprung-Russell" Diagram of Stars

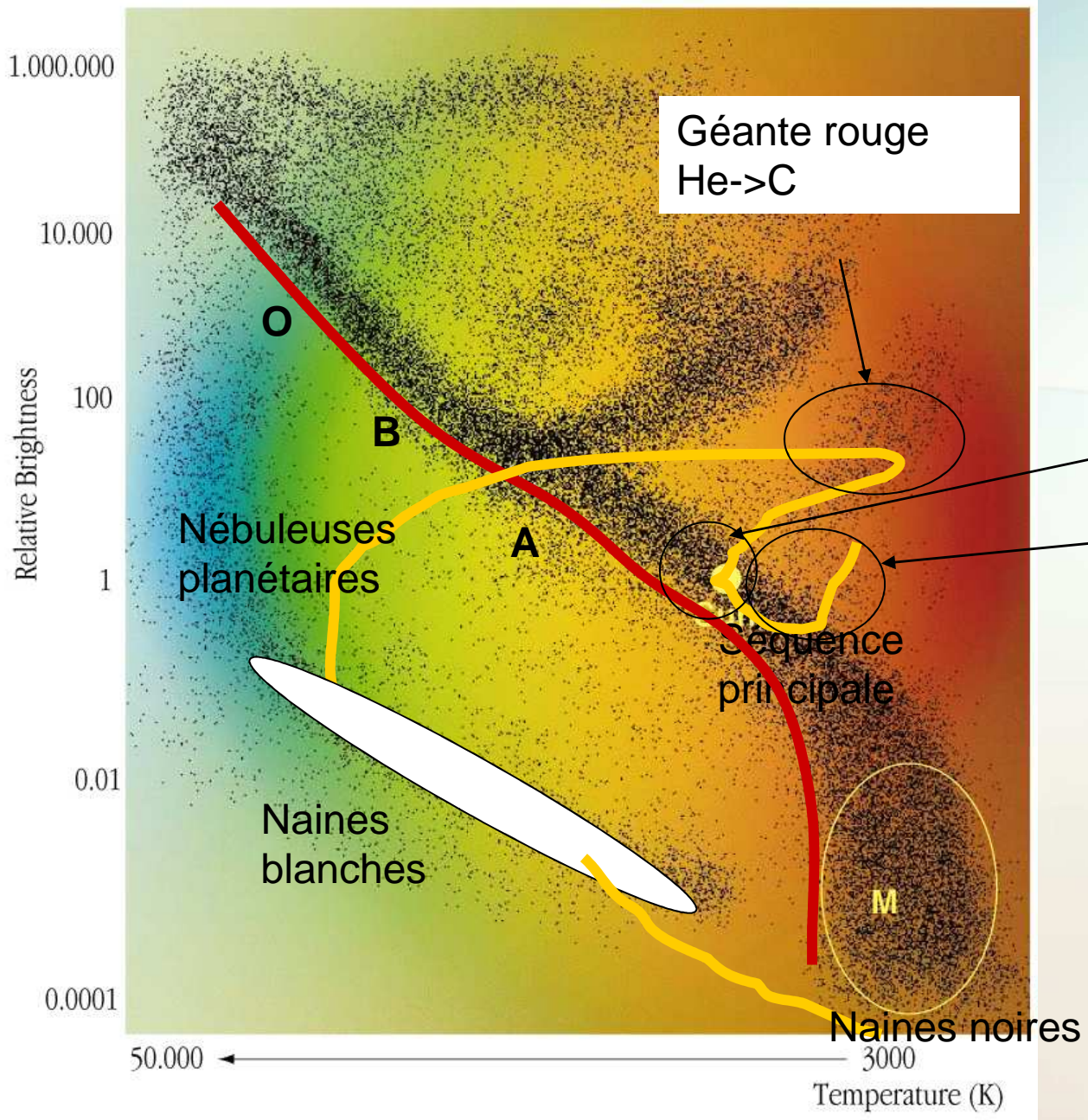
Etoiles chaudes: massives
(blanc bleu)

Etoiles froides: (jaune rouge)

Etoile jeune: « naine »

Etoile évoluée: « géante »

Relatif au type d'étoiles



Evolution étoile Soleil

Séquence principale H->He

Pré-séquence principale

Evolution étoiles naines rouges

The "Hertzsprung-Russell" Diagram of Stars



Evolution étoiles massives

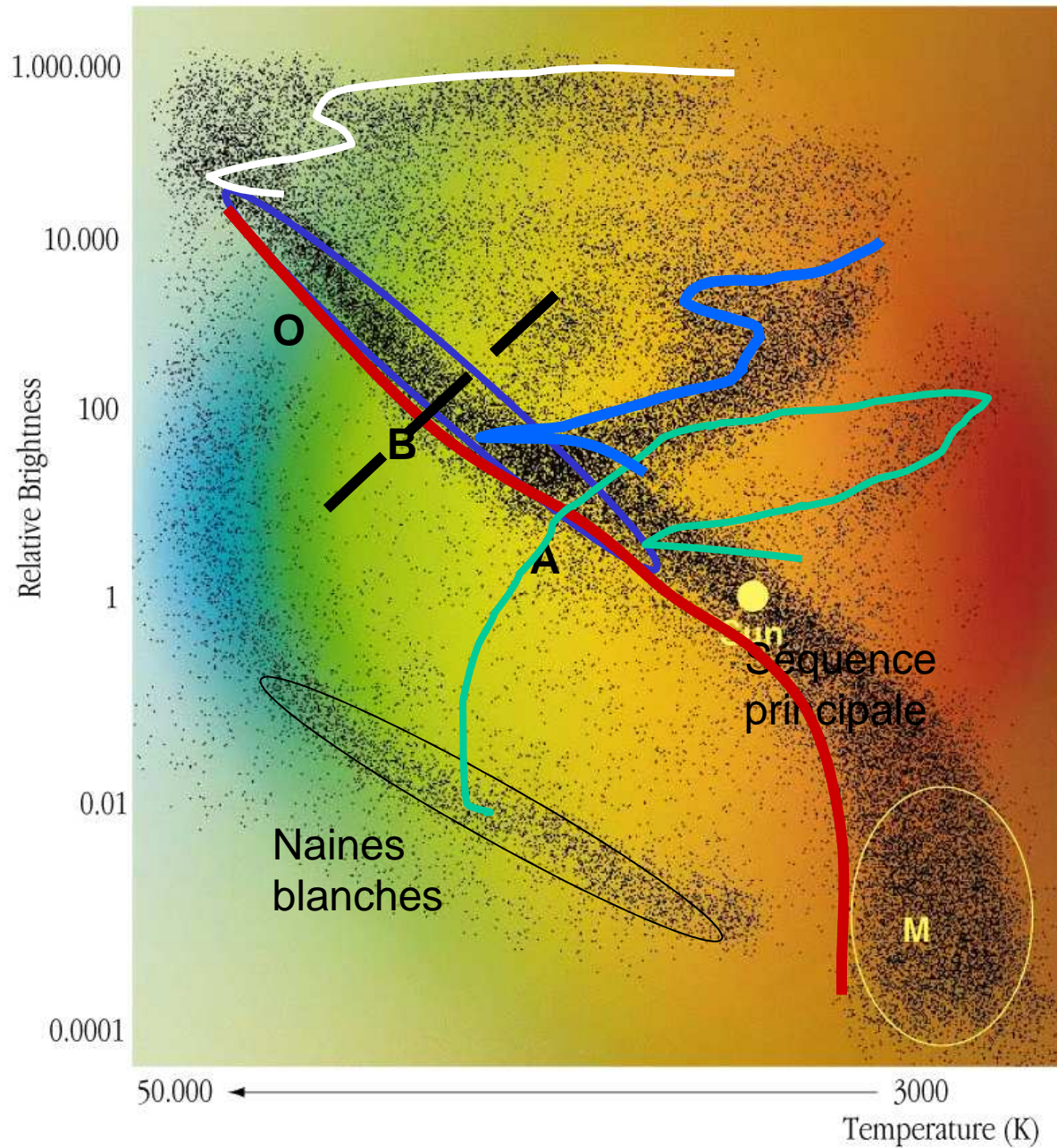
Etoiles B précoces 20000-30000K ; $M > 10 M_{\text{soleil}}$

Etoiles O tardives 30000-35000K ; $M < 30 M_{\text{soleil}}$

Cycles CNO \rightarrow Fe,
nucléosynthèse explosive

Supernova, étoiles à
neutrons...

Etoiles O les plus massives
 $T > 35000\text{K}$ Supernova, trou
noir



The "Hertzsprung-Russell" Diagram of Stars

Naissance

description et lieux de leur formation

Les étoiles naissent dans des gigantesques nuages de gaz et de poussières : les **nébuleuses**. Pendant des millions d'années, ces nébuleuses vont s'effondrer sous l'effet de leur propre gravité. Le gaz et la poussière n'y étant pas distribués de manière parfaitement uniforme, vont apparaître çà et là des "grumeaux" de matière, essentiellement composés d'hydrogène et de poussière interstellaires.



Cocons stellaires au sein de M42

A ces endroits, la densité croît très vite et la température monte en conséquence. (Il faut savoir qu'en vertu de la loi des gaz, plus la densité est grande, plus la température est haute). Le processus de formation stellaire dure environ 20 millions d'années. Lorsqu'au cœur de ce "grumeau stellaire" la température atteint une dizaine de millions de degrés, l'étoile "s'allume" et débute alors la fusion de l'hydrogène en hélium.



Amas ouvert des Pléiades



Nébuleuse de l'Aigle M16

Au sein d'une nébuleuse, les étoiles ne naissent pas individuellement, mais par groupes, constitués de quelques dizaines à quelques centaines d'étoiles, appelés **amas ouverts**.

Une étoile est donc une énorme boule de gaz. Au cours de sa vie normale, l'hydrogène qui est en son cœur va fusionner en hélium.

- Toute la matière existante est composée de noyaux et d'électrons qui tournent autour.
- Un noyau est composé de neutrons et de protons. C'est le nombre de protons dans le noyau qui détermine une matière donnée. Par exemple, un atome dont le noyau possède un proton s'appelle l'hydrogène, alors que le noyau du fer possède 26 protons.
- Une réaction qui met en jeu le noyau des atomes est une réaction nucléaire (du latin *nucleus* = noyau). Il existe deux types de réactions nucléaires : la **fission** qui consiste à casser un gros atome en plusieurs petits et la **fusion** qui au contraire consiste à fabriquer un gros atome avec d'autres plus petits. La fusion nucléaire est une réaction beaucoup plus énergétique que la fission et d'ailleurs l'homme ne sait pas la maîtriser autrement que de manière explosive (bombes H thermonucléaires).

A leur naissance, les étoiles ne possèdent pas toute la même taille et la même couleur. Ces deux critères sont déterminant pour les caractéristiques et la durée de vie de ces dernières.



Ici, nous apercevons un nuage Moléculaire. Il s'agit du site de formation de M16: **la nébuleuse de l'Aigle** dans la constellation du serpent. C'est justement ce type de nuage qui est susceptible de s'effondrer et de provoquer, par le fait même la naissance de plusieurs étoiles.

Les différentes étoiles...

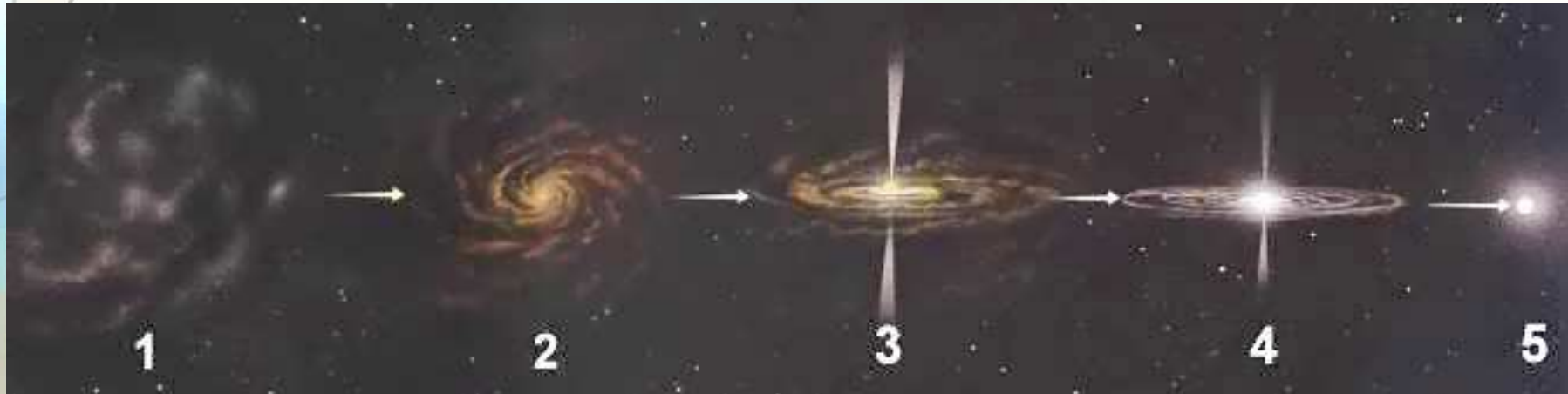
La couleur d'une étoile nous renseigne sur sa température de surface. Les étoiles bleues sont des géantes possédant une température de surface très élevée, de l'ordre de 30000°C . Du fait de leur taille, leur durée de vie est assez courte : quelques dizaines de millions d'années. Mais ce sont des étoiles extrêmement rares représentant moins de 1 % de la population stellaire.

Ensuite, par ordre décroissant de température, viennent les étoiles blanches, jaunes, oranges et rouges (environ 3500°C).

Ces deux dernières catégories représentent près de 90 % de la population stellaire. Les étoiles rouges sont de petites étoiles (diamètre environ 1/10 de notre Soleil), dont la durée de vie se compte en dizaines de milliards d'années.

En effet, la durée de vie d'une étoile est liée à sa masse à sa naissance. Plus elle est importante, plus elle fusionne de grosses quantité de gaz ; sa durée de vie sera donc brève.

En résumé :



Une région d'un nuage moléculaire où la matière est plus concentrée commence à s'effondrer sous son propre poids (1). Elle forme un disque en rotation, plus chaud et plus dense au centre (2), où s'allume une protoétoile qui laisse échapper des jets de matière (3). La protoétoile devient de plus en plus chaude et lumineuse (4), puis des réactions nucléaires s'amorcent : l'étoile est née (5).

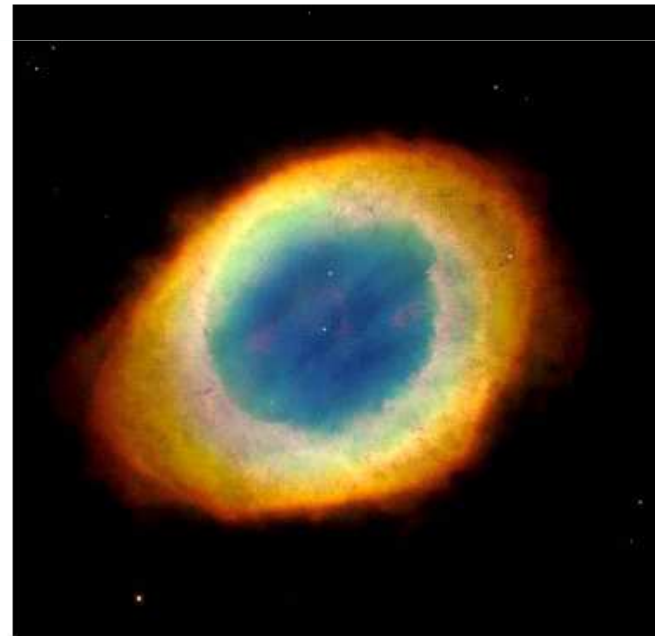
Les étoiles de petites masses et leur évolution

- Les étoiles naissent dans de vastes nuages de gaz : les nébuleuses. Les étoiles comme le Soleil se forment dans des nuages dont la composition chimique est d'environ 70 % d'hydrogène, 28% d'hélium et 2 % d'éléments plus lourds.
- Selon sa masse initiale, la nébuleuse interstellaire se contractera plus ou moins vite : Lorsque température et pression sont suffisamment élevées au centre de la proto-étoile, les réactions nucléaires commencent et l'étoile se met à briller : Elle a alors atteint le stade de la séquence principale (voir le diagramme d'Hertzsprung Russel) qui est la phase où elle passe la majorité de sa vie.

En fait, une étoile va synthétiser de nombreux éléments les uns après les autres. Mais plus les atomes sont complexes, plus la température du cœur, nécessaire à leur fusion est grande. Le Soleil, par exemple, est trop petit pour pouvoir un jour atteindre des très hautes températures et il ne pourra donc pas synthétiser d'éléments plus lourds que le carbone.

A ce moment, après avoir gonflé en géante rouge, le cœur de notre étoile se sera condensée en un astre très dense et très chaud : une naine blanche. (c'est un astre de la taille de la Terre et de la masse du Soleil.) Les couches externes seront expulsées autour de la naine blanche, pour donner ce que l'on appelle une nébuleuse planétaire ou annulaire. Mais rassurez-vous, le Soleil contient assez d'hydrogène pour tenir encore cinq milliards d'années... C'est le sort que subissent toutes les étoiles ayant une masse inférieur ou égale à notre Soleil.

Les étoiles de petites masses et leur évolution



Nébuleuse annulaire de Lyre M57

Durée des étapes de la vie d'une étoile

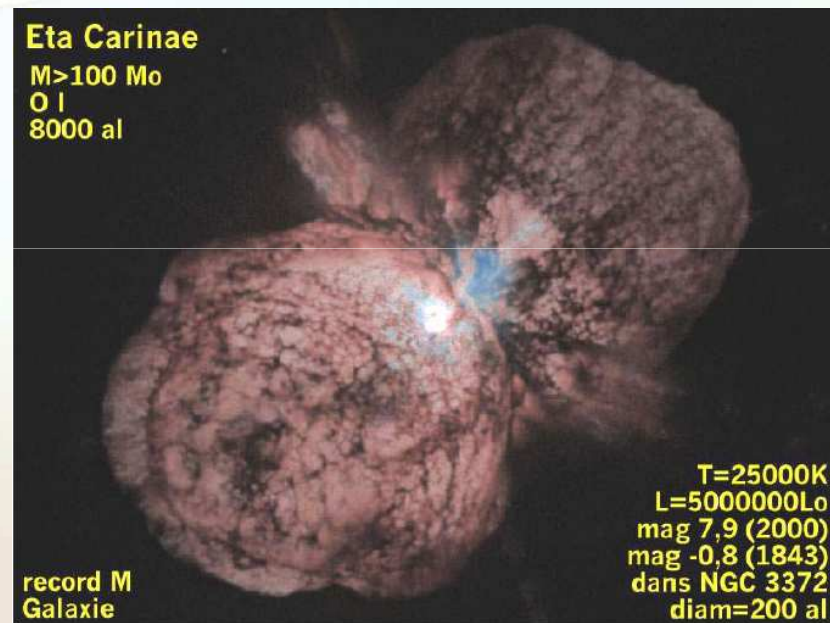


Nébuleuse planétaire de l'esquimo

Phase	Durée (années)
Contraction proto-stellaire	70 millions
Séquence Principale	10 milliards
Expansion vers Géante Rouge	700 millions
Géante Rouge	30 millions
Expansion vers Super géante	20 millions
Super géante Rouge	350 millions
Processus vers Naine Blanche	75 000 millions
Naine Blanche, puis Naine Noire	50 milliards

les étoiles massives

Les très grosses étoiles, en revanche, vont vivre une fin beaucoup plus tourmentée. Lorsqu'elles dépassent un dizaine de masses solaires, la température en leur cœur peut suffisamment s'élever pour aller jusqu'à la synthèse du fer, qui est l'élément le plus stable de tous et qui ne peut fusionner.

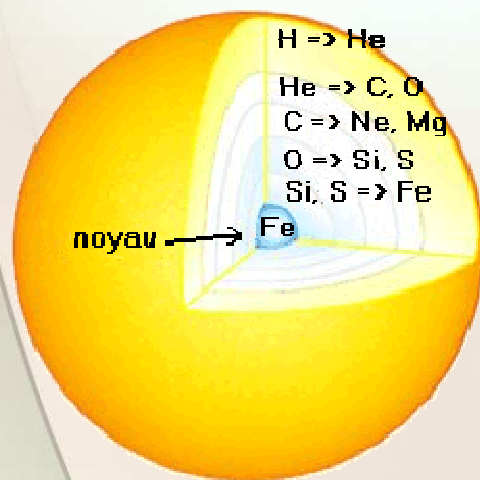


Dès lors, il n'y a plus de réaction nucléaire et plus rien n'empêche la gravité de prendre le dessus. L'étoile s'effondre alors sur elle-même, les couches externes rebondissent sur son cœur dans une gigantesque explosion appelée *Supernova*.

En détails...

Après que tout l'hélium ait brûlé en carbone, on observe un effondrement du cœur de carbone sur lui même : Ce qui provoque une fusion de ceux ci pour donner du magnésium. A ce stade de l'évolution la température intérieure est supérieure à plusieurs centaines de millions de degrés.

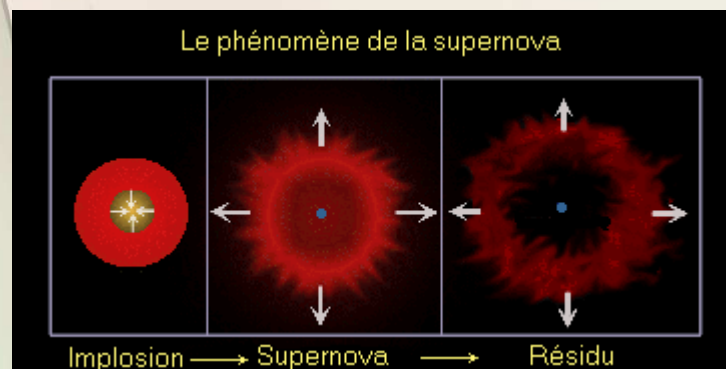
L'étoile possède alors une structure en pelure d'oignon, on observe alors que chaque couches de l'étoile correspondent à des réactions de fusion différente :



Par exemple sur la couche externe on a de l'hydrogène, qui, lorsqu'il brûle donne de l'hélium (système d'échange de protons), celui-ci rejoint l'hélium de la seconde couche qui, lorsqu'il brûle donne du carbone et de l'oxygène...on passe ainsi de l'hélium au carbone, néon, Oxygène, silicium et ainsi de suite jusqu'à ce qu'on arrive à une des matières les plus stables : le fer. A ce stade l'étoile n'est plus suffisamment chaude et ne possède plus assez d'énergie pour consommer ce nouvel élément. A la fin de cette course l'enveloppe de cette étoile est dilatée de façon encore plus disproportionnée : **Une supergéante rouge!**

Les couches externes de l'étoile continuent à dégénérer ainsi la masse du cœur de l'étoile continue d'augmenter. Quand cette masse atteint 1,44 fois celle du soleil, on observe un phénomène appelé effondrement gravitationnel. Ce phénomène produit une énergie mécanique énorme qui traverse les couches de l'étoile et la fait exploser : c'est la supernovae.

Cette explosion possède suffisamment d'énergie pour permettre de déclencher à nouveau de réactions de fusion dans le cœur de fer. Tous les éléments que l'on peut trouver sur Terre proviennent de projections naissant de l'explosion d'une supernovae. A ce stade le noyau de l'étoile est tellement lourd (jusqu'à 1 fois et demi la masse du soleil !) que son effondrement provoque une pression gigantesque qui active une réaction endothermique et désintègre les atomes de fer dans leur intégralité ! Cette réaction a pour principe de transformer tous les protons et les électrons des atomes de fer détruits en neutrons... Ce phénomène se produit en quelques secondes seulement. L'onde de choc produite traverse toutes les couches de l'étoile, ce qui crée une série de fusion entre les éléments qui y sont présents. C'est de cette façon que sont créés des éléments plus lourds que le fer exemple : Nickel, Cobalt, Uranium... Quand l'onde de choc arrive à la surface : l'étoile explose !



Celle-ci explose à une vitesse dramatique. On parle de 15 000 kilomètres par secondes ! A ce stade de leur évolution, il est possible de les voir à l'œil nu : En effet, le dégagement de chaleur et de lumière est si grand que la distance qui nous sépare d'elle (des centaines d'années lumières) n'est plus un obstacle à l'observation. Cette luminosité peut durer pendant un mois ou deux.

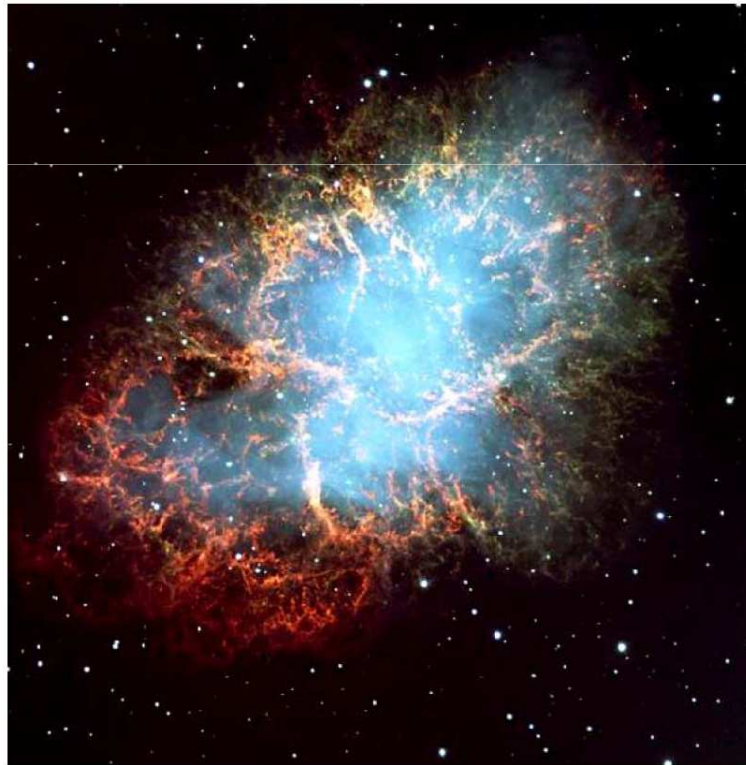
Et après ...

Cette explosion provoque la fabrication de tous les éléments existant, jusqu'à l'uranium, qui vont être essaimés dans l'espace environnant. Les éléments qui nous composent sont donc synthétisés dans ces étoiles et c'est à ce titre que comme dit un homme célèbre, *nous sommes des enfants des étoiles*.



Supernova observée en 1987 dans le Grand Nuage de Magellan (l'étoile la plus brillante sur la seconde photo indiquée par la flèche)

Le cadavre qui en résulte est plus dense qu'une naine blanche, c'est une *étoile à neutrons*, ou un *pulsar*. Si l'étoile originelle est vraiment très massive, elle peut générer un *trou noir*, astre si dense que la vitesse de libération à sa surface est plus grande que la vitesse de la lumière. (La vitesse de libération est la vitesse qu'il faut atteindre pour échapper à l'attraction gravitationnelle d'un astre. Dans un trou noir, même un photon n'est pas assez rapide, cet objet ne peut donc pas briller, d'où son nom.) Enfin, pour se faire une idée de la densité du trou noir, il faut savoir que le soleil en serait un s'il mesurait 6 km de diamètre pour la même masse.



La nébuleuse de Crabe (M1), rémanent de la supernova observée en 1054 par les Chinois. Les astronomes ont découvert un pulsar au cœur de M1.

Des détails...

L'Étoile à Neutron

Suite à l'explosion de la supernovae, l'étoile à neutrons se crée à une température supérieure à 1000 milliards de degrés mais elle va se refroidir très rapidement. En effet, elle va chuter à 1 million de degrés en environ 1000 ans ce qui est à l'échelle stellaire très peu. Par la suite sa température évoluera très lentement.

Dans une étoile à neutrons la pression de dégénérescence (celle qui maintient les naines blanches à l'équilibre) est trop forte pour celle-ci : on obtient alors un phénomène extraordinaire ... Les électrons qui étaient déjà à leurs limites sont poussés encore plus loin. Les électrons pénètrent alors dans l'atome, ils s'annulent alors avec les protons ce qui forme alors un amas de neutrons. Ce phénomène est appelé une neutronisation. Bien vite ensuite la gravité reprends le dessus et les compriment à leur tour jusqu'à leur limite (comme pour les électrons) seulement les neutrons eux peuvent résister à cette compression tant que la masse de l'étoile est inférieure à une certaine masse évaluée aujourd'hui à 3,2 Masses solaires.

Il se produit alors d'extraordinaires phénomènes, Premièrement l'intense effondrement gravitationnel leur donne une grande énergie cinétique de rotation ce qui fait que des jeunes étoiles peuvent atteindre une vitesse de rotation inférieure à une seconde par tour (la terre elle a vitesse de rotation de 24 h). Cette vitesse de rotation attire bien souvent les gaz qui l'entoure, ce qui forme une magnétosphère (une atmosphère de plasma qui réagit aux champs magnétiques que l'on trouve chez certaines étoiles à neutrons). **Ces étoiles sont appelées alors des PULSARS.** (PULSating stARS) Celles ci sont très petites (environ 10 km de rayon), leur vitesse de rotation est de 33 tours par seconde mais certains pulsars peuvent des fois atteindre 1 000 tours par secondes. Les particules de plasma sont alors attirées vers les pôles du fait du champ magnétique ou se forme alors d'intenses jets de radiation.

Au fur et à mesure qu'ils dissipent leur énergie les pulsars ralentissent leur vitesse. Pour finir, ils deviennent des petits corps obscurs, immobiles et sont alors indétectable de la Terre.

les trous noirs

Pour les étoiles qui ne deviendront pas une étoile à neutron, une autre fin leur est réservée, après d'intenses phénomènes elles deviendront ce que tout le monde connaît abstraitement : Le Trou Noir.

Schwarzschild, astronome allemand, en s'appuyant sur les travaux d'Einstein a calculé quelle serait la taille d'un astre pour que sa vitesse de libération (cf. lexique) soit égale à celle de la lumière. On sait que la pression de dégénérescence lutte contre la gravité, à un certain moment la masse de cette étoile va tellement augmenter que sa vitesse de libération va atteindre celle de la vitesse de la lumière ...

Einstein aurait montré avec ses travaux qu'aucun corps ne pourrait dépasser cette vitesse...

Autrement dit, la libération des éléments n'est donc plus possible, même la lumière ne peut s'échapper, ce qui nous permet de comprendre le fait qu'elle nous soit invisible.

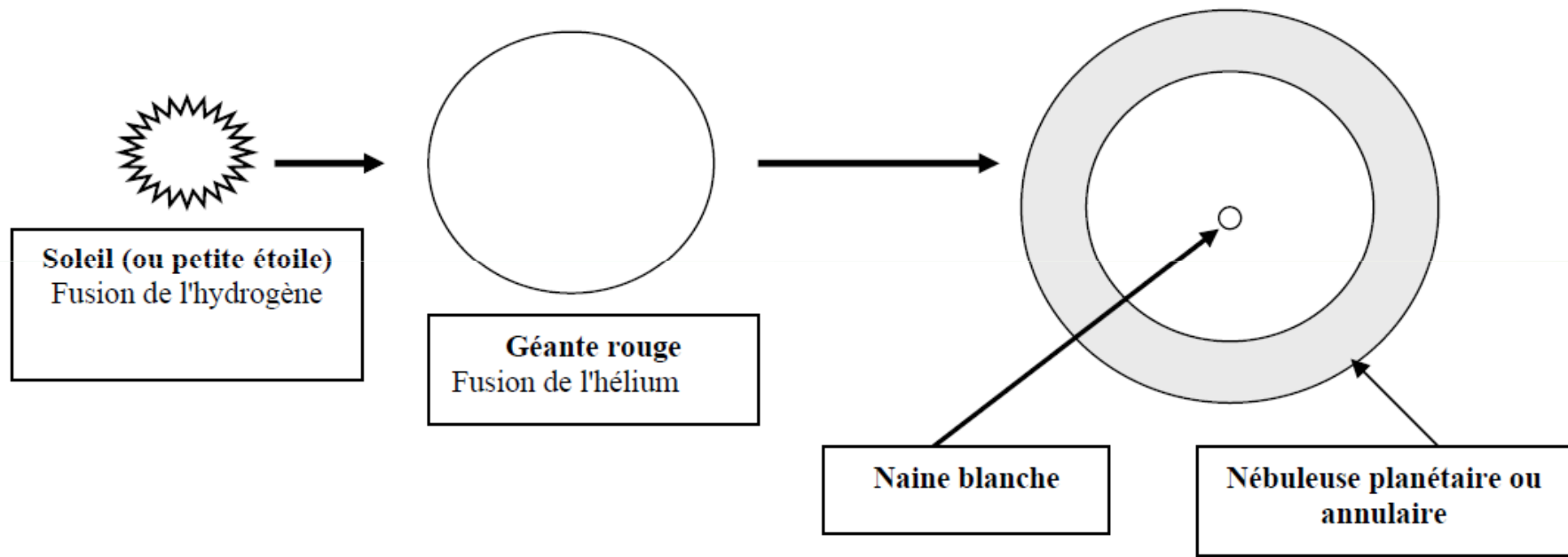
Le trou noir est caractérisé par des termes précis :

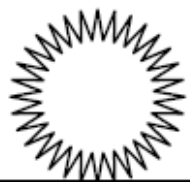
Pour caractériser sa densité infinie on l'appelle : Singularité

Sa surface est appelée L'horizon

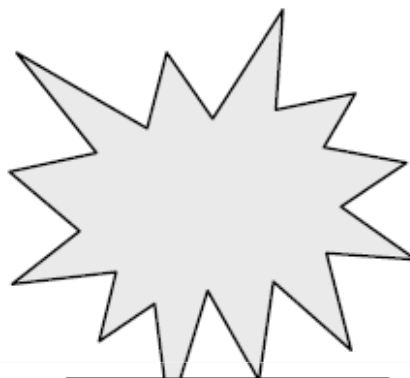
et sa taille est exprimée avec : Le rayon de Schwarz Child

Conclusion.

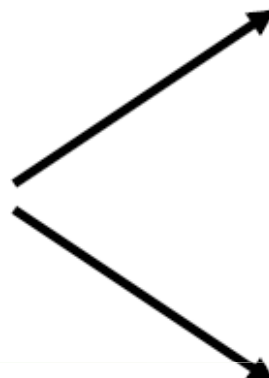




Étoile massive



Supernova



Pulsar

Trou noir