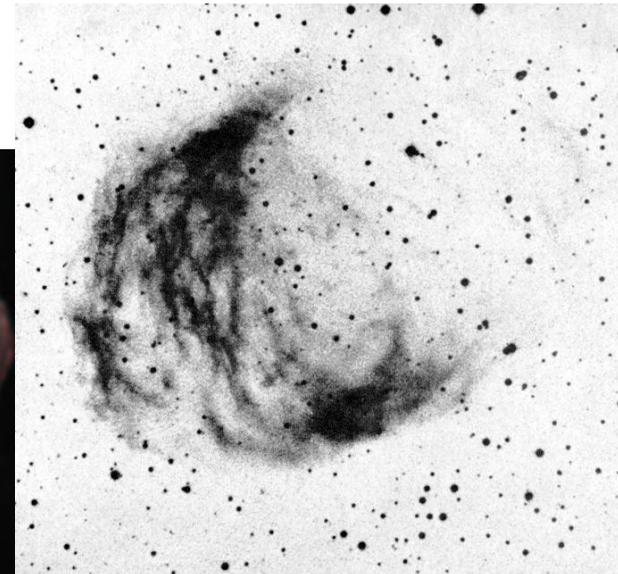
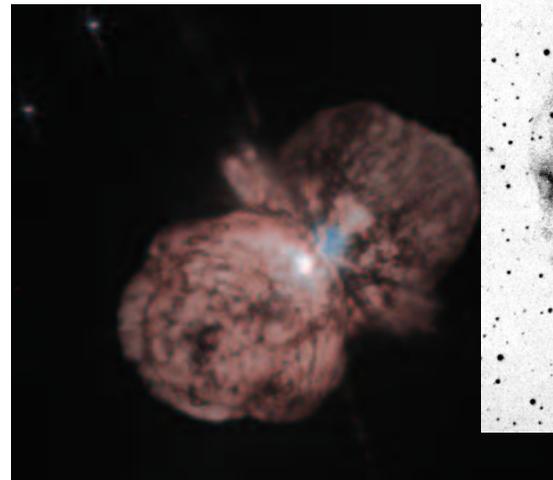




Petite évolution stellaire illustrée



Benjamin MAUCLAIRE
AAAOV

Introduction

Des types d'étoiles...

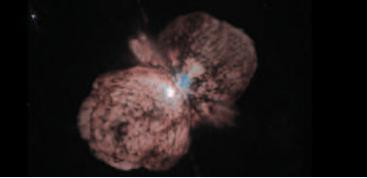
Les étoiles de masse inférieure à
 $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à
 $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes



-
- Introduction

- Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à

8 M_{\odot}

Les étoiles de masse supérieure à

8 M_{\odot}

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes

Introduction



Introduction

Introduction

● Introduction

Des types d'étoiles...

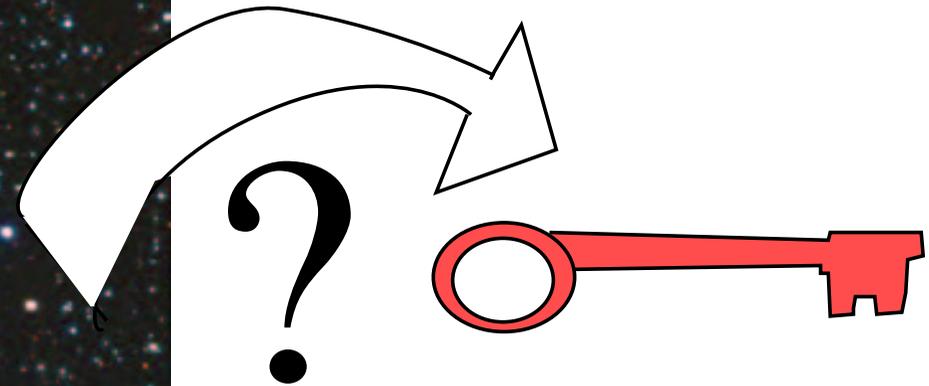
Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes



- Les étoiles du ciel semblent identiques.



Introduction

Introduction

● Introduction

Des types d'étoiles...

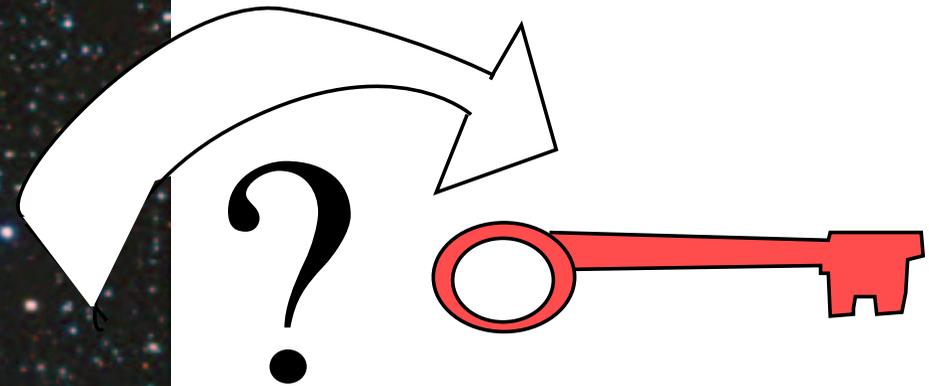
Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes



- Les étoiles du ciel semblent identiques.
- Est-ce juste une apparence ?



Introduction

Introduction

● Introduction

Des types d'étoiles...

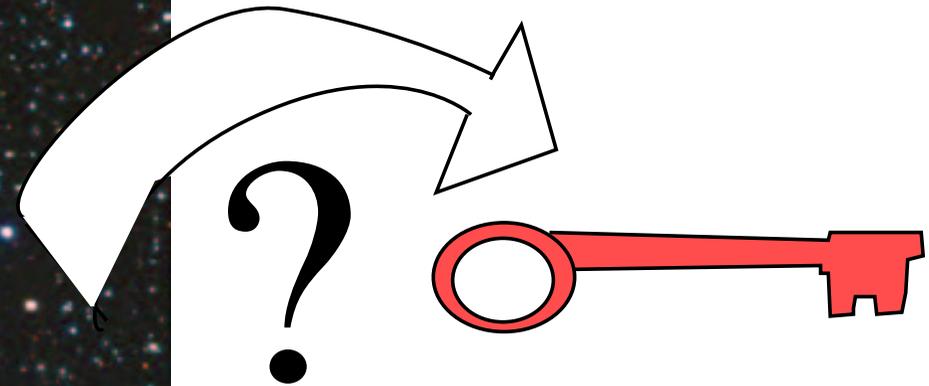
Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes



- Les étoiles du ciel semblent identiques.
- Est-ce juste une apparence ?
- D'où vient le métal dont est fait nos clefs ?



Introduction

Introduction

● Introduction

Des types d'étoiles...

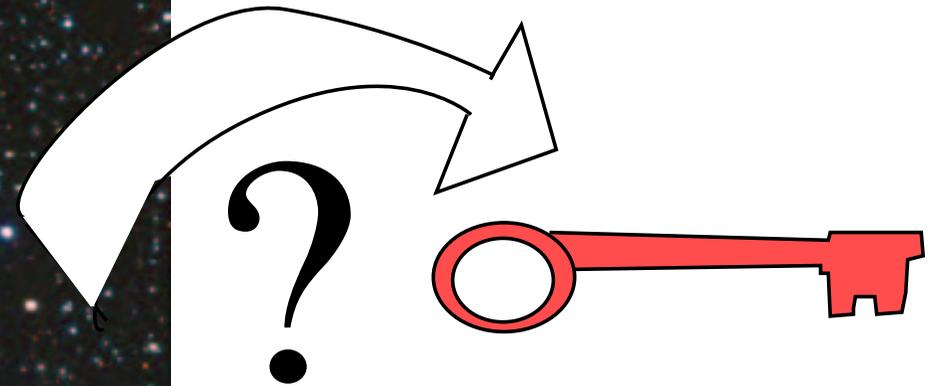
Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes



- Les étoiles du ciel semblent identiques.
- Est-ce juste une apparence ?
- D'où vient le métal dont est fait nos clefs ?
- Vivent-elles toutes les mêmes étapes ?



Introduction

Des types d'étoiles...

- La couleur des étoiles 1
- La couleur des étoiles 2
- La luminosité des étoiles 1
- La luminosité des étoiles 2
- La densité des étoiles
- Les fins possibles des étoiles

Les étoiles de masse inférieure à
 $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à
 $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes

Des types d'étoiles...



La couleur des étoiles 1



Introduction

Des types d'étoiles...

● La couleur des étoiles 1

● La couleur des étoiles 2

● La luminosité des étoiles 1

● La luminosité des étoiles 2

● La densité des étoiles

● Les fins possibles des étoiles

Les étoiles de masse inférieure à

$8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à

$8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes

■ Un ciel multicolore...





La couleur des étoiles 1



Introduction

Des types d'étoiles...

● La couleur des étoiles 1

● La couleur des étoiles 2

● La luminosité des étoiles 1

● La luminosité des étoiles 2

● La densité des étoiles

● Les fins possibles des étoiles

Les étoiles de masse inférieure à

$8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à

$8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes

■ Un ciel multicolore...



■ La loi du “bout de métal chaud”.



La couleur des étoiles 1

■ Un ciel multicolore...



■ La loi du “bout de métal chaud”.

■ La température des étoiles :

W — *O* — *B* — *A* — *F* — *G* — *K* — *M*
Willie, *Oh* *Be* *A* *Fine* *Girl* *Kiss* *Me !*

Introduction

Des types d'étoiles...

● La couleur des étoiles 1

● La couleur des étoiles 2

● La luminosité des étoiles 1

● La luminosité des étoiles 2

● La densité des étoiles

● Les fins possibles des étoiles

Les étoiles de masse inférieure à

$8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à

$8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes



La couleur des étoiles 1

■ Un ciel multicolore...



■ La loi du “bout de métal chaud”.

■ La température des étoiles :

W — *O* — *B* — *A* — *F* — *G* — *K* — *M*
Willie, *Oh* *Be* *A* *Fine* *Girl* *Kiss* *Me !*

■ On appelle cela le **type spectral**.

Introduction

Des types d'étoiles...

● La couleur des étoiles 1

● La couleur des étoiles 2

● La luminosité des étoiles 1

● La luminosité des étoiles 2

● La densité des étoiles

● Les fins possibles des étoiles

Les étoiles de masse inférieure à

$8 M_{\odot}$

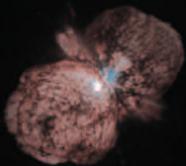
Les étoiles de masse supérieure à

$8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes



La couleur des étoiles 2

■ Une classification des étoiles :

Type spectral	Couleur	T (K)	Espèces atomiques	Exemples
O	bleu-blanc	30 000	peu de raies en absorption, He^+ , X^{3+} , H très faible	<i>Naos</i>
B	bleu-blanc	12 000 - 25 000	He, H	<i>Rigel, Spica</i>
A	bleu-blanc	7 500 – 11 000	H fort, Mg^+ , Si^+ , Fe^+ , Ti^+ , Ca^+ , métaux neutres.	<i>Sirius, Vega</i>
F	blanc	6 000 – 7 500	H, métaux ⁺ et neutres	<i>Canopus, Procyon</i>
G	blanc-jaune	5 000 – 6 000	Ca^+ , métaux ⁺ et neutres	<i>Soleil, Capella</i>
K	jaune-orange	3 500 – 5 000	métaux neutres	<i>Acturus, Al-débaran</i>
M	rouge	3 500	métaux neutres et molécules	<i>Bételgeuse, Antarès</i>

Introduction

Des types d'étoiles...

● La couleur des étoiles 1

● La couleur des étoiles 2

● La luminosité des étoiles 1

● La luminosité des étoiles 2

● La densité des étoiles

● Les fins possibles des étoiles

Les étoiles de masse inférieure à

$8 M_{\odot}$

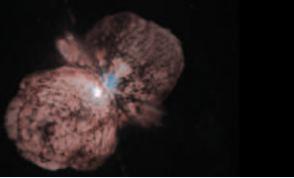
Les étoiles de masse supérieure à

$8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

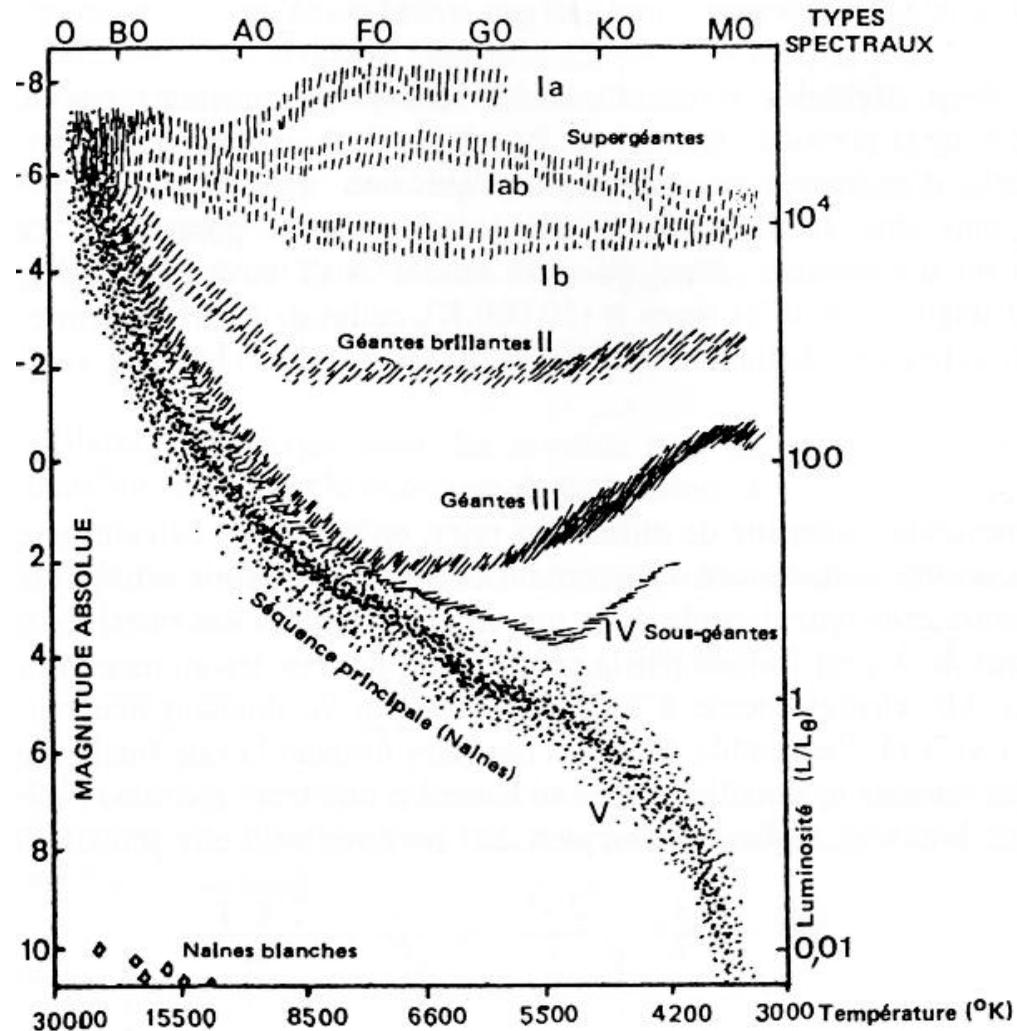
Conclusion

Annexes



La luminosité des étoiles 1

■ Les groupes d'étoiles :



Introduction

Des types d'étoiles...

- La couleur des étoiles 1
- La couleur des étoiles 2
- La luminosité des étoiles 1
- La luminosité des étoiles 2
- La densité des étoiles
- Les fins possibles des étoiles

Les étoiles de masse inférieure à 8 M_☉

Les étoiles de masse supérieure à 8 M_☉

Observation de l'évolution stellaire

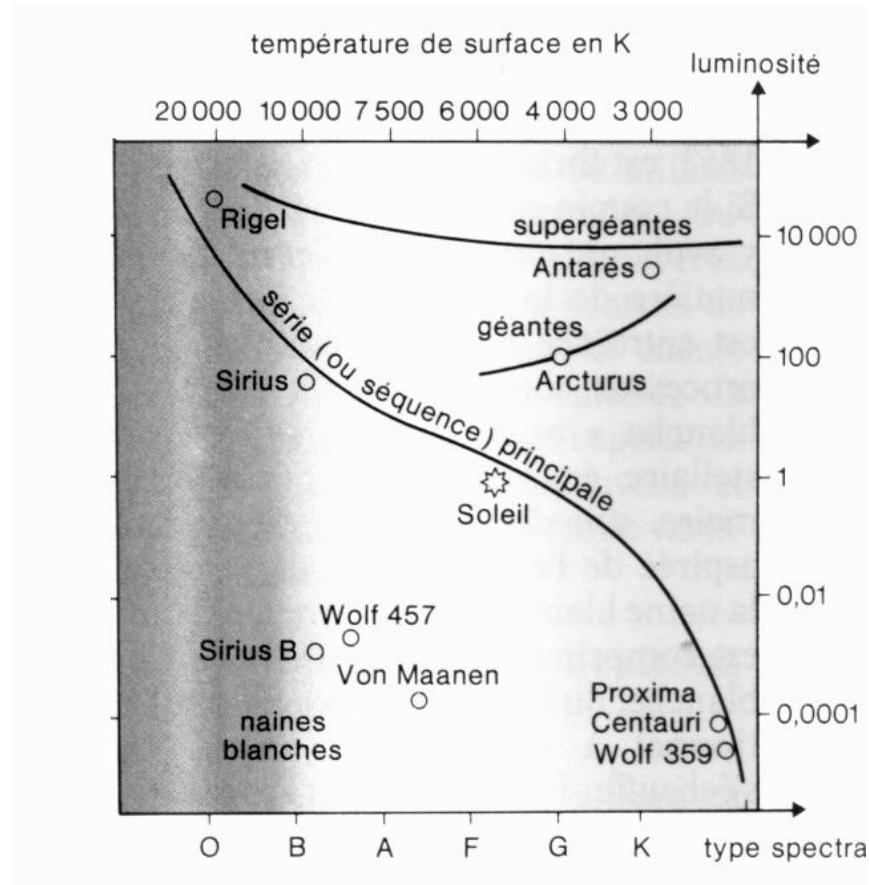
Conclusion

Annexes



La luminosité des étoiles 2

- C'est le diagramme Hertzsprung-Russel dit "HR" :



- ◆ Diagramme reliant **température - luminosité**.

Introduction

Des types d'étoiles...

- La couleur des étoiles 1
- La couleur des étoiles 2
- La luminosité des étoiles 1
- La luminosité des étoiles 2
- La densité des étoiles
- Les fins possibles des étoiles

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

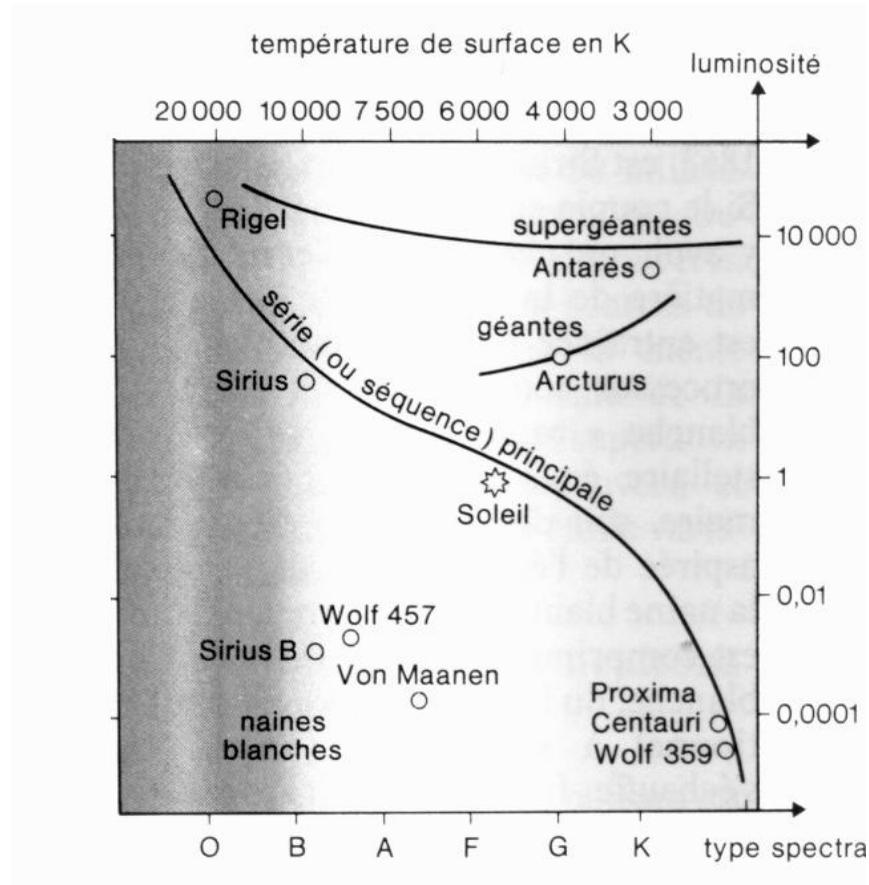
Conclusion

Annexes



La luminosité des étoiles 2

- C'est le diagramme Hertzsprung-Russel dit "HR" :



- ◆ Diagramme reliant **température - luminosité**.
- ◆ \longleftrightarrow **couleur (classe spectrale) et magnitude**.

Introduction

Des types d'étoiles...

- La couleur des étoiles 1
- La couleur des étoiles 2
- La luminosité des étoiles 1
- La luminosité des étoiles 2
- La densité des étoiles
- Les fins possibles des étoiles

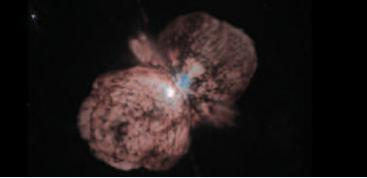
Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes



La densité des étoiles

■ La densité : une caractéristique fondamentale des étoiles.



Introduction

Des types d'étoiles...

- La couleur des étoiles 1
- La couleur des étoiles 2
- La luminosité des étoiles 1
- La luminosité des étoiles 2
- La densité des étoiles
- Les fins possibles des étoiles

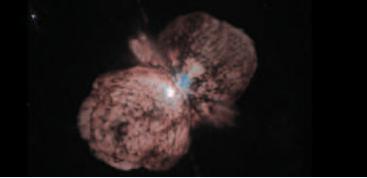
Les étoiles de masse inférieure à
 $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à
 $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes



La densité des étoiles

- **La densité** : une caractéristique fondamentale des étoiles.
- → correspond aux trois grandes étapes de la vie d'une étoile.

●

Introduction

Des types d'étoiles...

- La couleur des étoiles 1
- La couleur des étoiles 2
- La luminosité des étoiles 1
- La luminosité des étoiles 2
- **La densité des étoiles**
- Les fins possibles des étoiles

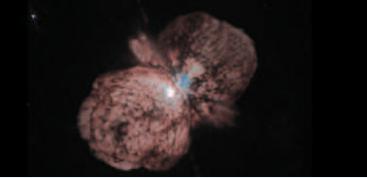
Les étoiles de masse inférieure à
 $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à
 $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes



La densité des étoiles



Introduction

Des types d'étoiles...

- La couleur des étoiles 1
- La couleur des étoiles 2
- La luminosité des étoiles 1
- La luminosité des étoiles 2
- La densité des étoiles
- Les fins possibles des étoiles

Les étoiles de masse inférieure à
 $8 M_{\odot}$

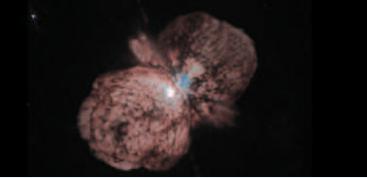
Les étoiles de masse supérieure à
 $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes

- **La densité** : une caractéristique fondamentale des étoiles.
- → correspond aux trois grandes étapes de la vie d'une étoile.
- ◆ Les étoiles de **la séquence principale (SP)** :
 - Les naines ;
 - Les étoiles bleues et très lumineuses.



La densité des étoiles



Introduction

Des types d'étoiles...

- La couleur des étoiles 1
- La couleur des étoiles 2
- La luminosité des étoiles 1
- La luminosité des étoiles 2
- La densité des étoiles
- Les fins possibles des étoiles

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

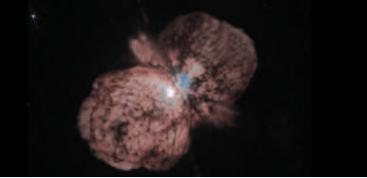
Conclusion

Annexes

- **La densité** : une caractéristique fondamentale des étoiles.
- → correspond aux trois grandes étapes de la vie d'une étoile.

- ◆ Les étoiles de **la séquence principale (SP)** :
 - Les naines ;
 - Les étoiles bleues et très lumineuses.

- ◆ La bande des **géante rouges et jaunes** :
 - Très grand diamètre ;
 - Densité très faible : $1/100^e$ à $1/10\,000^e$ de l'eau.



La densité des étoiles



Introduction

Des types d'étoiles...

- La couleur des étoiles 1
- La couleur des étoiles 2
- La luminosité des étoiles 1
- La luminosité des étoiles 2
- La densité des étoiles
- Les fins possibles des étoiles

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

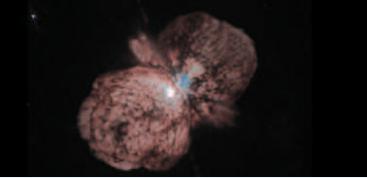
Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes

- **La densité** : une caractéristique fondamentale des étoiles.
- → correspond aux trois grandes étapes de la vie d'une étoile.
- ◆ Les étoiles de **la séquence principale (SP)** :
 - Les naines ;
 - Les étoiles bleues et très lumineuses.
- ◆ La bande des **géante rouges et jaunes** :
 - Très grand diamètre ;
 - Densité très faible : $1/100^e$ à $1/10\,000^e$ de l'eau.
- ◆ Le groupe des **naines blanches** :
 - Densité $\simeq 1$ tonne/cm³ ;
 - Astres dégénérés ;
 - Fin de vie des étoiles.



Les fins possibles des étoiles

- $M < 0.8 M_{\odot}$: naine brune, naine vielle.

●

Introduction

Des types d'étoiles...

- La couleur des étoiles 1
- La couleur des étoiles 2
- La luminosité des étoiles 1
- La luminosité des étoiles 2
- La densité des étoiles
- Les fins possibles des étoiles

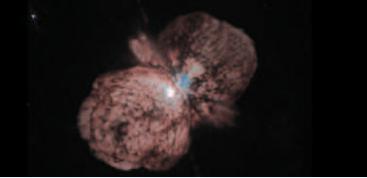
Les étoiles de masse inférieure à
 $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à
 $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

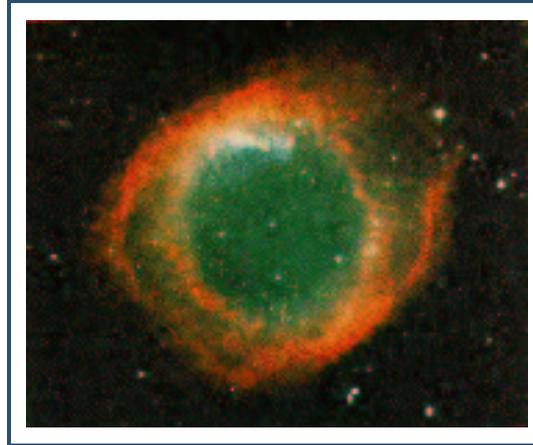
Conclusion

Annexes



Les fins possibles des étoiles

- $M < 0.8 M_{\odot}$: naine brune, naine vielle.
- $0.8 M_{\odot} < M < 8 M_{\odot}$: naine blanche + nébuleuse planétaire (NP).



Introduction

Des types d'étoiles...

- La couleur des étoiles 1
- La couleur des étoiles 2
- La luminosité des étoiles 1
- La luminosité des étoiles 2
- La densité des étoiles
- Les fins possibles des étoiles

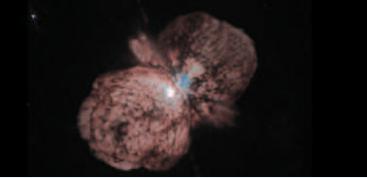
Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

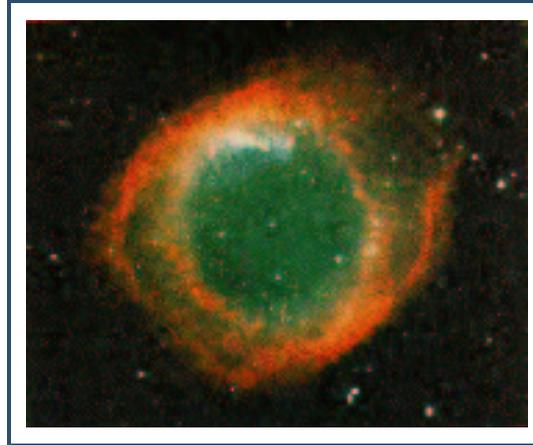
Conclusion

Annexes

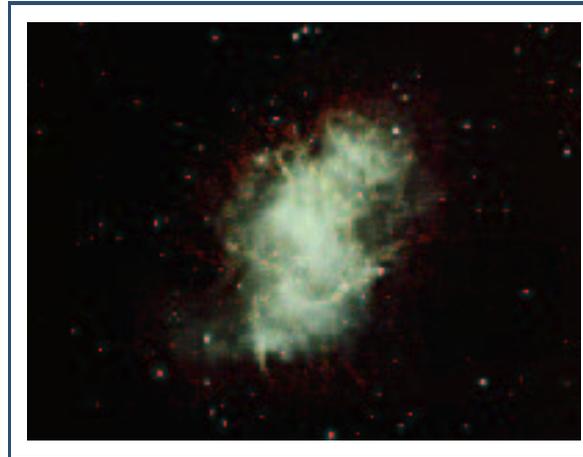


Les fins possibles des étoiles

- $M < 0.8 M_{\odot}$: naine brune, naine vielle.
- $0.8 M_{\odot} < M < 8 M_{\odot}$: naine blanche + nébuleuse planétaire (NP).



- $M > 8 M_{\odot}$: étoile à neutrons + supernova (SN).



Introduction

Des types d'étoiles...

- La couleur des étoiles 1
- La couleur des étoiles 2
- La luminosité des étoiles 1
- La luminosité des étoiles 2
- La densité des étoiles
- Les fins possibles des étoiles

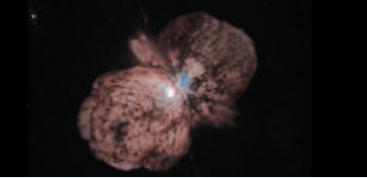
Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

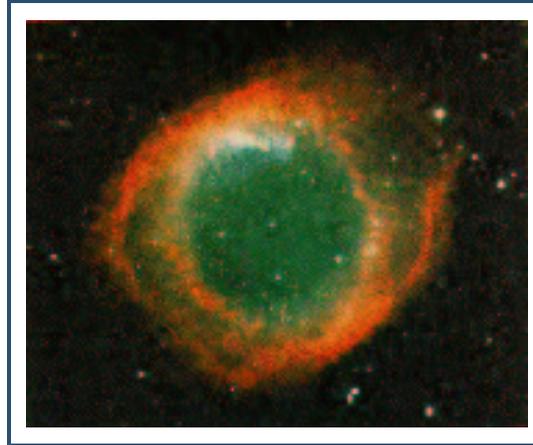
Conclusion

Annexes

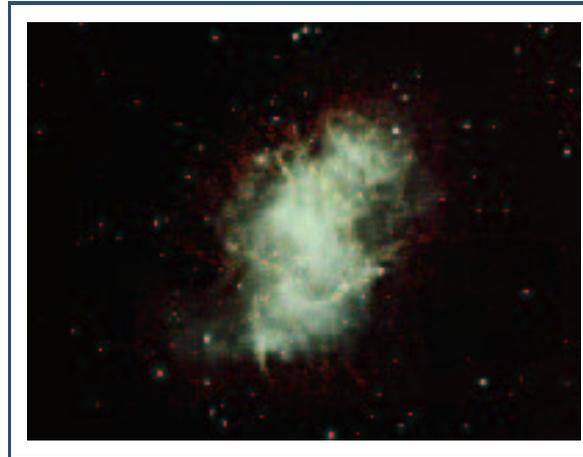


Les fins possibles des étoiles

- $M < 0.8 M_{\odot}$: **naine brune, naine vielle.**
- $0.8 M_{\odot} < M < 8 M_{\odot}$: **naine blanche + nébuleuse planétaire (NP).**



- $M > 8 M_{\odot}$: **étoile à neutrons + supernova (SN).**



- $M > 40 M_{\odot}$: formation d'un **trou noir.**

Introduction

Des types d'étoiles...

- La couleur des étoiles 1
- La couleur des étoiles 2
- La luminosité des étoiles 1
- La luminosité des étoiles 2
- La densité des étoiles
- Les fins possibles des étoiles

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes



[Introduction](#)

[Des types d'étoiles...](#)

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

- Vie d'une étoile de type solaire
- Les trois vents...
- Les naines blanches
- Les nébuleuses planétaires

[Les étoiles de masse supérieure à \$8 M_{\odot}\$](#)

[Observation de l'évolution stellaire](#)

[Conclusion](#)

[Annexes](#)

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$



Vie d'une étoile de type solaire

Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

● Vie d'une étoile de type solaire

● Les trois vents...

● Les naines blanches

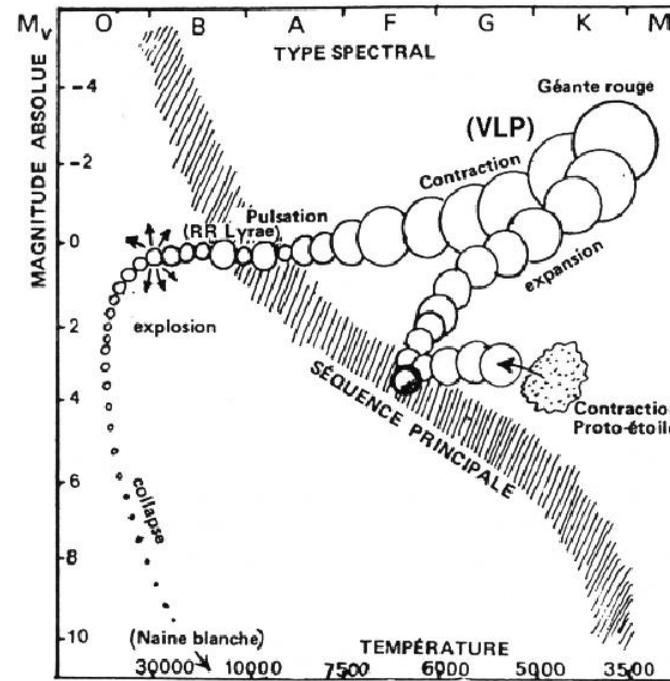
● Les nébuleuses planétaires

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

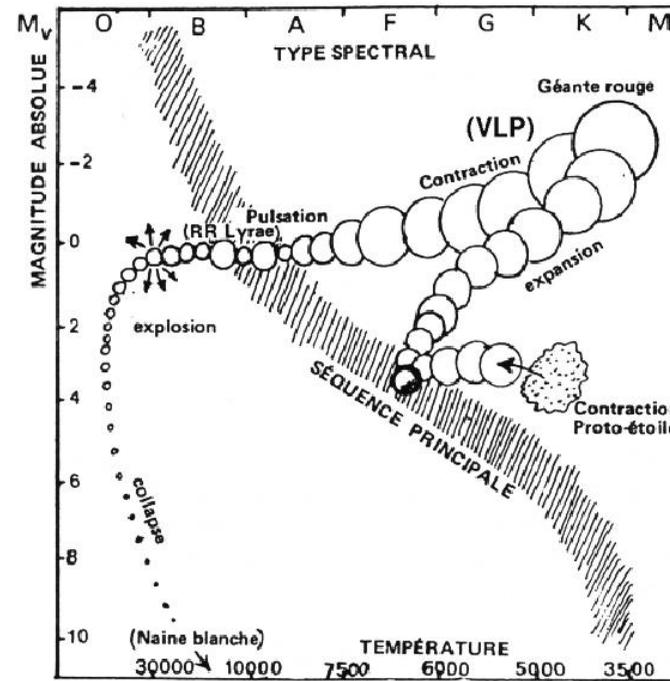
Annexes



1. **Fin de SP** : $H \rightarrow He$, puis flash de He.



Vie d'une étoile de type solaire



1. **Fin de SP** : H \rightarrow He, puis flash de He.
2. **BH** : contraction.

Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

● Vie d'une étoile de type solaire

● Les trois vents...

● Les naines blanches

● Les nébuleuses planétaires

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

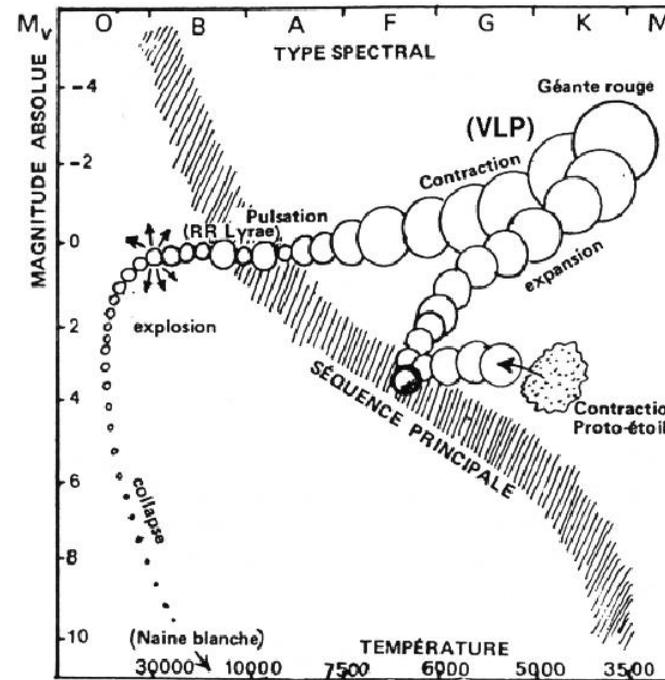
Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes



Vie d'une étoile de type solaire



1. **Fin de SP** : H \rightarrow He, puis flash de He.
2. **BH** : contraction.
3. **AGB** : dilatation et combustion en coquilles.

Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

● Vie d'une étoile de type solaire

● Les trois vents...

● Les naines blanches

● Les nébuleuses planétaires

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

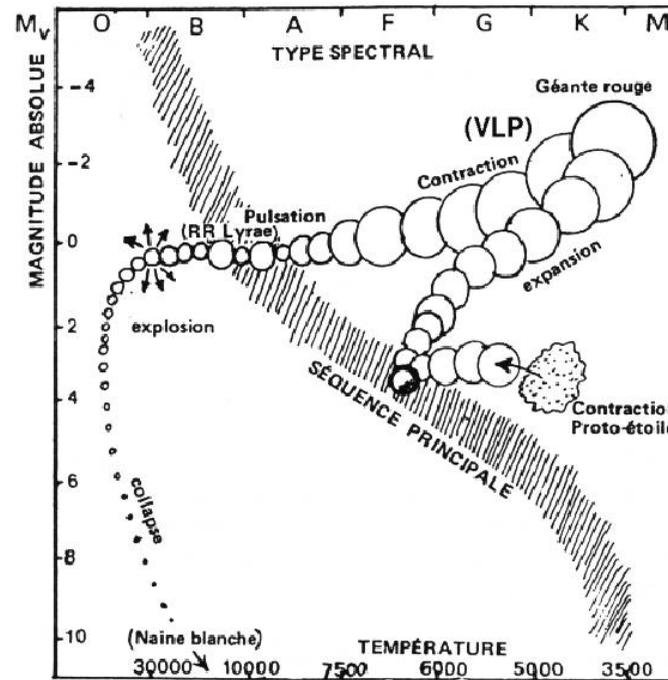
Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes



Vie d'une étoile de type solaire



1. **Fin de SP** : $H \rightarrow He$, puis flash de He.
2. **BH** : contraction.
3. **AGB** : dilatation et combustion en coquilles.
4. **GR** : diminution de T
excès thermiques \implies VLP+1^{er} vent.

Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

● Vie d'une étoile de type solaire

● Les trois vents...

● Les naines blanches

● Les nébuleuses planétaires

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

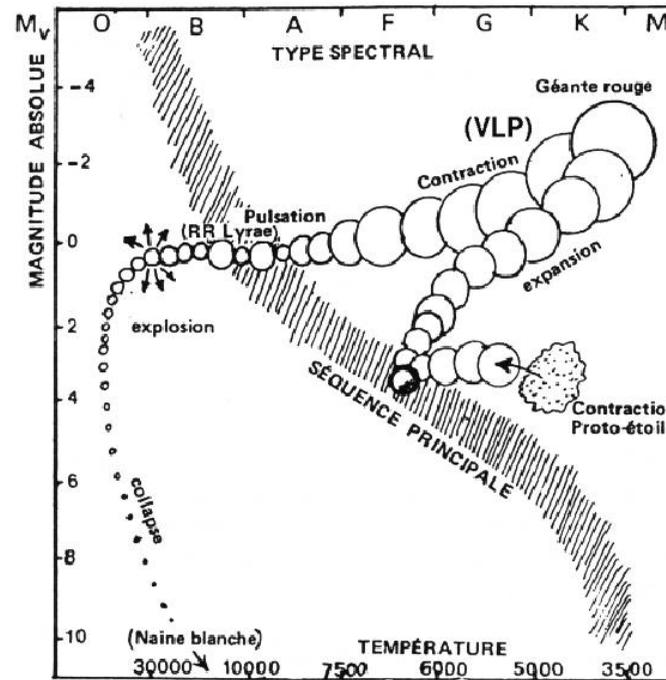
Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes



Vie d'une étoile de type solaire



1. **Fin de SP** : $H \rightarrow He$, puis flash de He.
2. **BH** : contraction.
3. **AGB** : dilatation et combustion en coquilles.
4. **GR** : diminution de T
excès thermiques \Rightarrow VLP+1^{er} vent.
5. **OH/IR** : emballement réactions \rightarrow 2^e vent.

Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

● Vie d'une étoile de type solaire

● Les trois vents...

● Les naines blanches

● Les nébuleuses planétaires

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

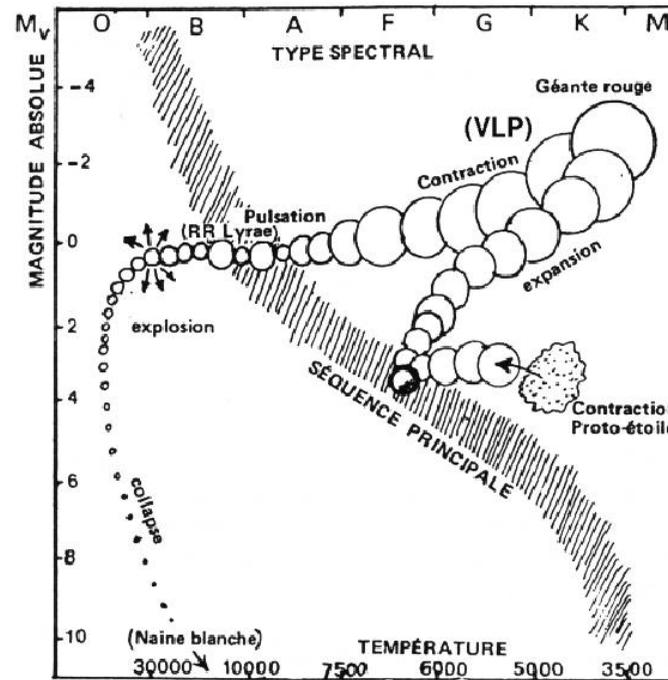
Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes



Vie d'une étoile de type solaire



1. **Fin de SP** : H \rightarrow He, puis flash de He.
2. **BH** : contraction.
3. **AGB** : dilatation et combustion en coquilles.
4. **GR** : diminution de T
excès thermiques \Rightarrow VLP+1^{er} vent.
5. **OH/IR** : emballement réactions \rightarrow 2^e vent.
6. **NB** : effondrement \Rightarrow reprise H \rightarrow He + 3^e vent.

Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

● Vie d'une étoile de type solaire

● Les trois vents...

● Les naines blanches

● Les nébuleuses planétaires

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

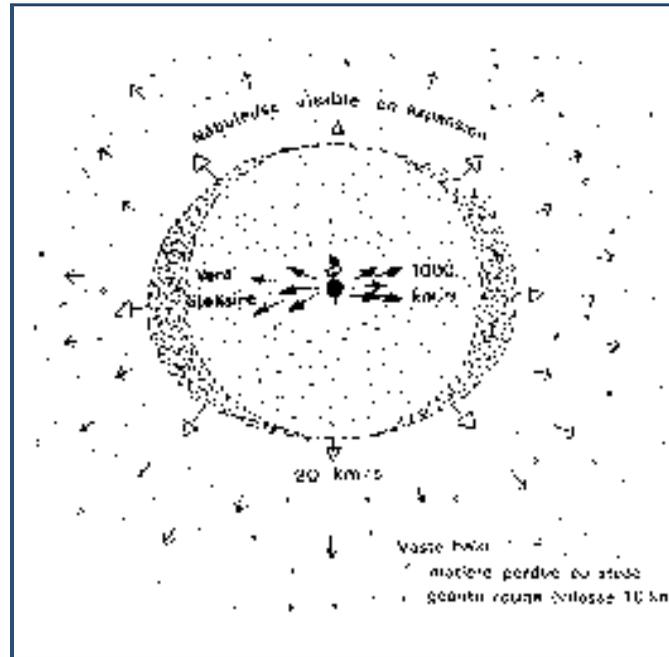
Conclusion

Annexes



Les trois vents...

■ Création d'une cavité centrale et...



Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

● Vie d'une étoile de type solaire

● Les trois vents...

● Les naines blanches

● Les nébuleuses planétaires

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

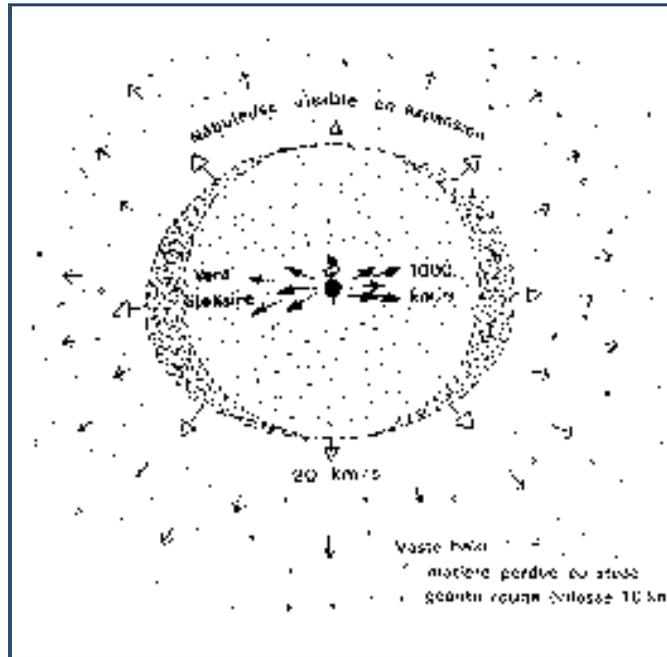
Conclusion

Annexes



Les trois vents...

■ Création d'une cavité centrale et...



■ de globules cométaires.



Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

● Vie d'une étoile de type solaire

● Les trois vents...

● Les naines blanches

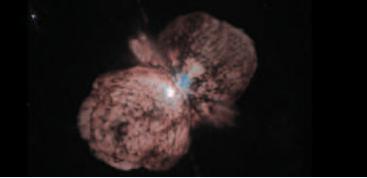
● Les nébuleuses planétaires

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

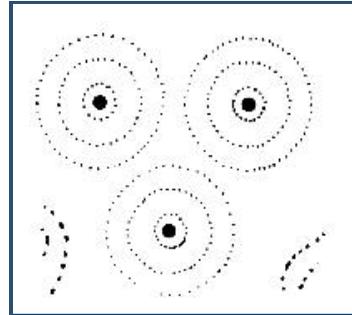
Conclusion

Annexes



Les naines blanches

- À ce stade de son évolution, les électrons sont totalement libres :



Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

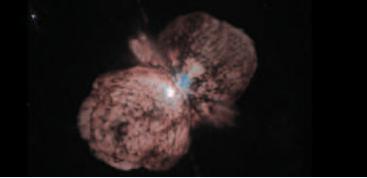
- Vie d'une étoile de type solaire
- Les trois vents...
- Les naines blanches
- Les nébuleuses planétaires

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

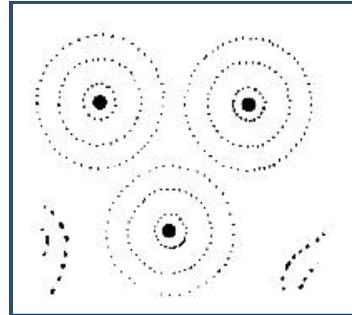
Conclusion

Annexes



Les naines blanches

- À ce stade de son évolution, les électrons sont totalement libres :



- Principe d'exclusion de Pauli : empêche deux électrons de pouvoir occuper le même état.

●
Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

- Vie d'une étoile de type solaire
- Les trois vents...
- Les naines blanches
- Les nébuleuses planétaires

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

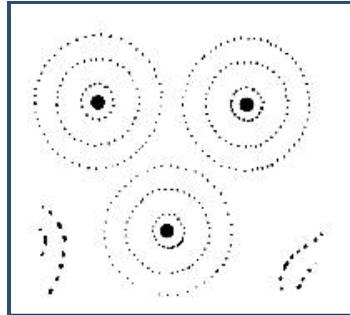
Conclusion

Annexes



Les naines blanches

- À ce stade de son évolution, les électrons sont totalement libres :



- Principe d'exclusion de Pauli : empêche deux électrons de pouvoir occuper le même état.
- \implies pression de dégénérescence : stoppe l'inexorable effondrement.

●
Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

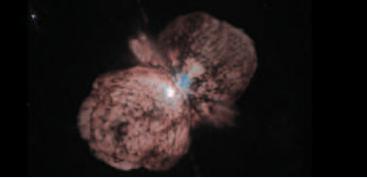
- Vie d'une étoile de type solaire
- Les trois vents...
- Les naines blanches
- Les nébuleuses planétaires

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

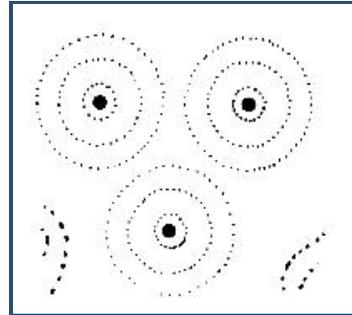
Conclusion

Annexes

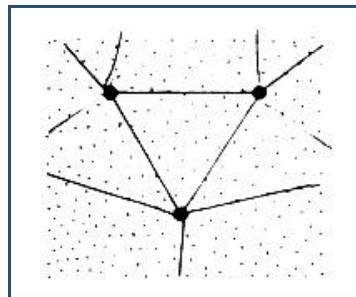


Les naines blanches

- À ce stade de son évolution, les électrons sont totalement libres :



- Principe d'exclusion de Pauli : empêche deux électrons de pouvoir occuper le même état.
- \implies pression de dégénérescence : stoppe l'inexorable effondrement.
- Le coeur stellaire est un noyau "rigide" de carbone et d'une atmosphère d'hélium.



- ◆ $R = 6000 \text{ km.}$
- ◆ $d = 1 \text{ t/cm}^3.$

Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

- Vie d'une étoile de type solaire
- Les trois vents...
- Les naines blanches
- Les nébuleuses planétaires

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

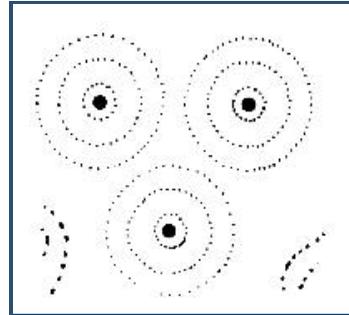
Conclusion

Annexes

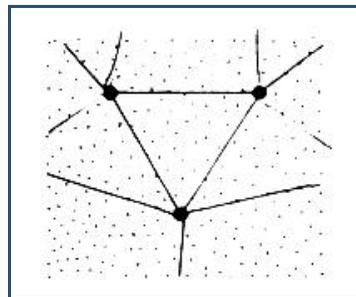


Les naines blanches

- À ce stade de son évolution, les électrons sont totalement libres :



- Principe d'exclusion de Pauli : empêche deux électrons de pouvoir occuper le même état.
- \implies pression de dégénérescence : stoppe l'inexorable effondrement.
- Le coeur stellaire est un noyau "rigide" de carbone et d'une atmosphère d'hélium.



- ◆ $R = 6000 \text{ km.}$
- ◆ $d = 1 \text{ t/cm}^3.$

- Si $M_{NB} > 1,44 M_{\odot}$: contraction en étoile à neutrons.

Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

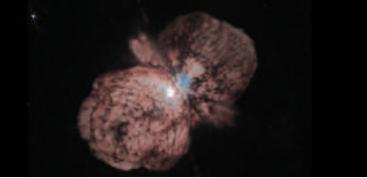
- Vie d'une étoile de type solaire
- Les trois vents...
- Les naines blanches
- Les nébuleuses planétaires

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes



Les nébuleuses planétaires

- La combustion de l'hélium restant chauffe l'étoile.

●
[Introduction](#)

[Des types d'étoiles...](#)

Les étoiles de masse inférieure à
8 M_{\odot}

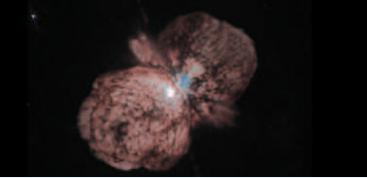
- Vie d'une étoile de type solaire
- Les trois vents...
- Les naines blanches
- **Les nébuleuses planétaires**

Les étoiles de masse supérieure à
8 M_{\odot}

[Observation de l'évolution stellaire](#)

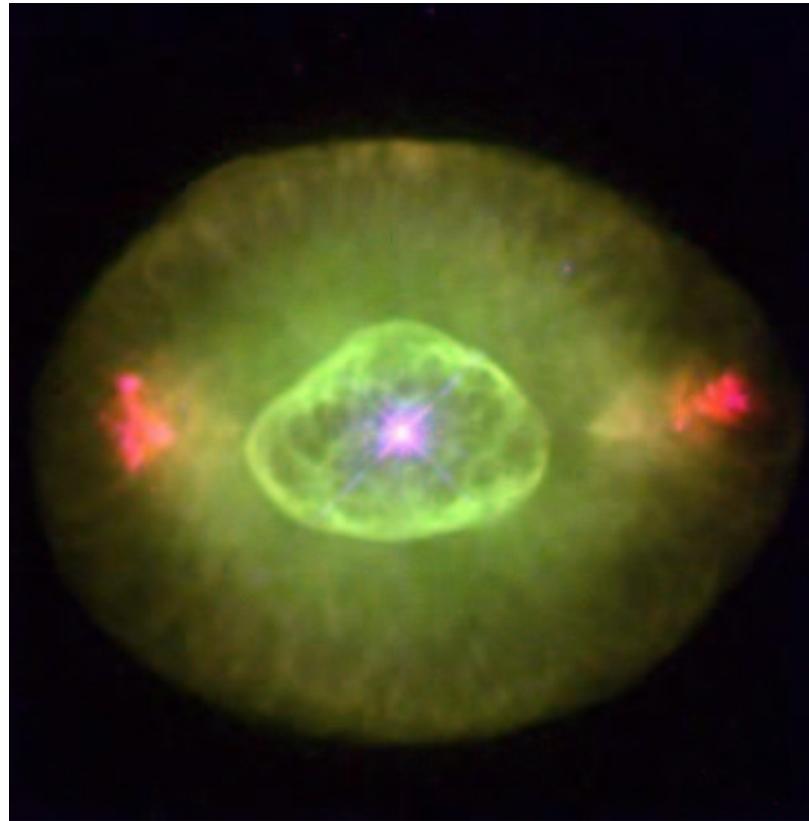
[Conclusion](#)

[Annexes](#)



Les nébuleuses planétaires

- La combustion de l'hélium restant chauffe l'étoile.
- La nébuleuse planétaire est née : rendue visible par l'excitation du gaz.



Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

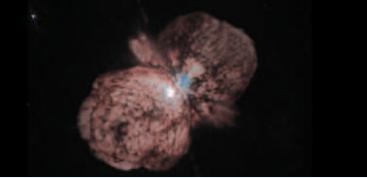
- Vie d'une étoile de type solaire
- Les trois vents...
- Les naines blanches
- Les nébuleuses planétaires

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes



Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à
 $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à
 $8 M_{\odot}$

- Une vie brève...
- Les étoiles de Wolf-Rayet
- Cas des étoiles de
 $60 M_{\odot} < M < 100 M_{\odot}$
- Une fin violente : l'étoile à
neutrons

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

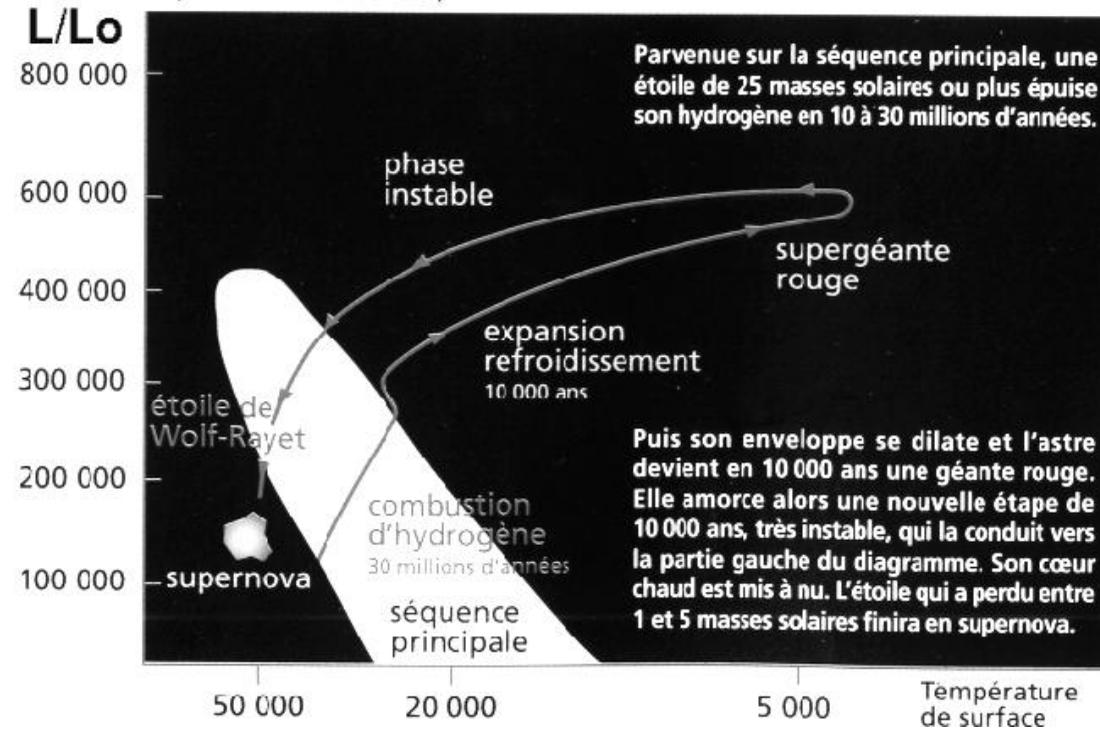
Annexes

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$



Une vie brève...

1. Combustion de H : moins de 10 millions d'années ;



Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

● Une vie brève...

● Les étoiles de Wolf-Rayet

● Cas des étoiles de $60 M_{\odot} < M < 100 M_{\odot}$

● Une fin violente : l'étoile à neutrons

Observation de l'évolution stellaire

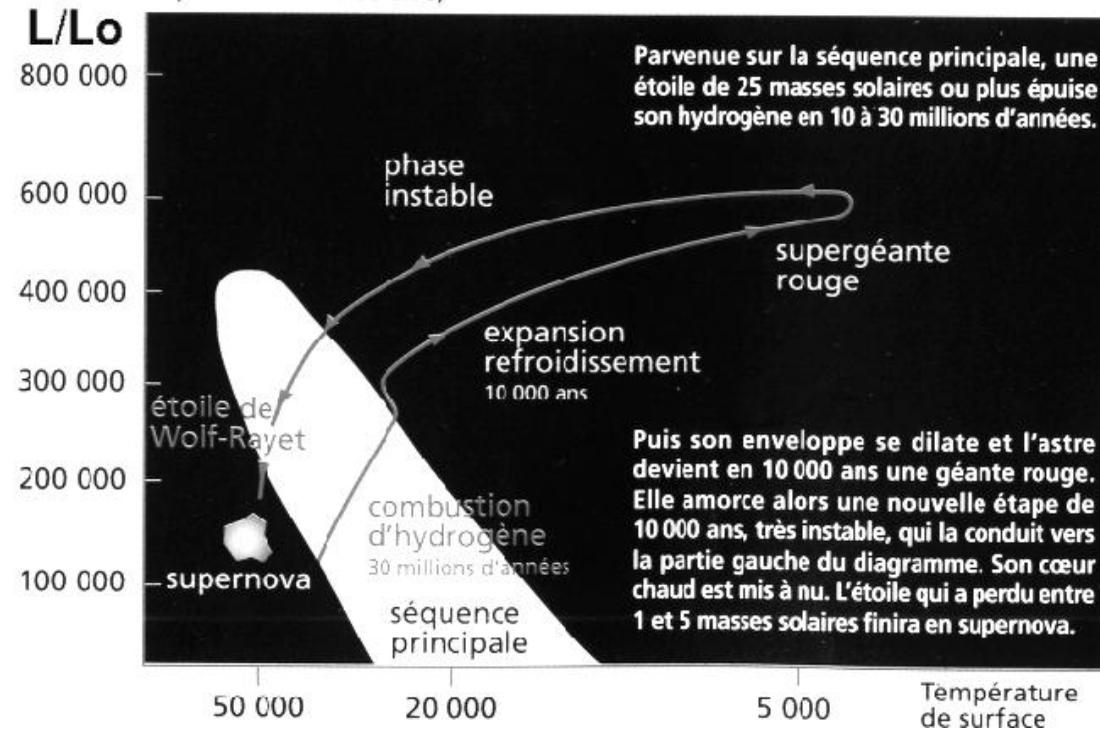
Conclusion

Annexes



Une vie brève...

1. Combustion de H : moins de 10 millions d'années ;



2. Synthèse de C et N : combustion en coquilles ;

Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

● Une vie brève...

● Les étoiles de Wolf-Rayet

● Cas des étoiles de $60 M_{\odot} < M < 100 M_{\odot}$

● Une fin violente : l'étoile à neutrons

Observation de l'évolution stellaire

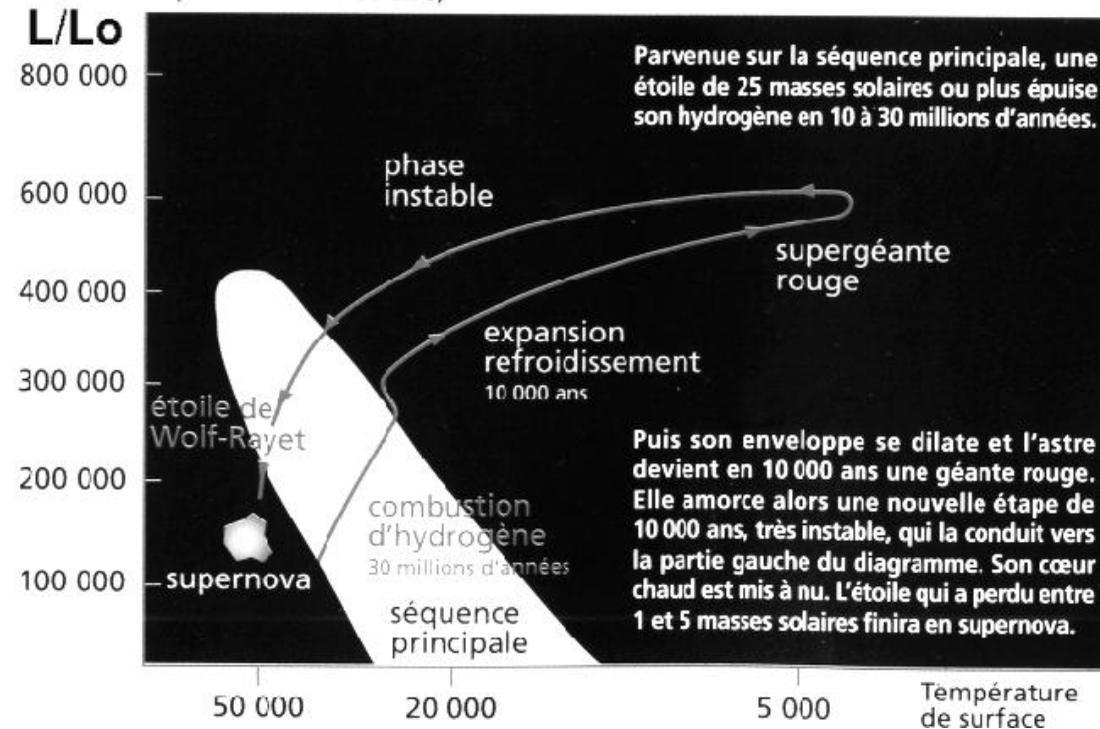
Conclusion

Annexes



Une vie brève...

1. Combustion de H : moins de 10 millions d'années ;



2. Synthèse de C et N : combustion en coquilles ;

3. Forte expansion → SGR ;

Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à 8 M_o

Les étoiles de masse supérieure à 8 M_o

● Une vie brève...

● Les étoiles de Wolf-Rayet

● Cas des étoiles de 60 M_o < M < 100 M_o

● Une fin violente : l'étoile à neutrons

Observation de l'évolution stellaire

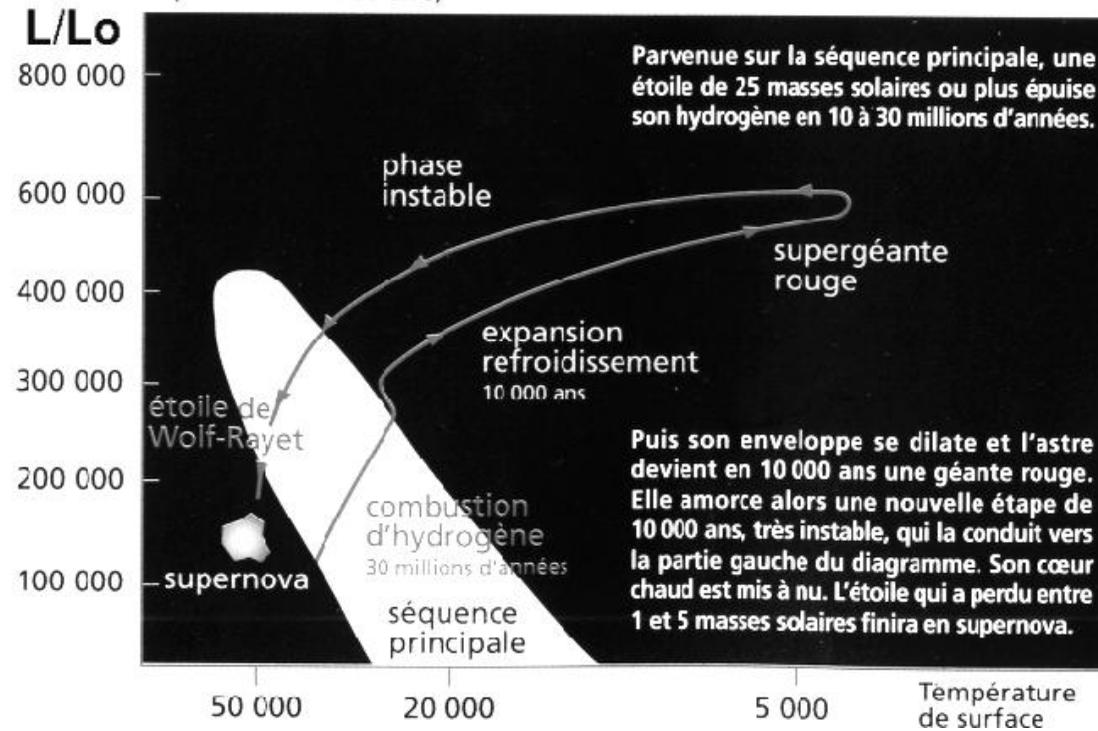
Conclusion

Annexes



Une vie brève...

1. Combustion de H : moins de 10 millions d'années ;



2. Synthèse de C et N : combustion en coquilles ;

3. Forte expansion → SGR ;

4. Instabilités : selon la métallicité → WRN ;

Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

● Une vie brève...

● Les étoiles de Wolf-Rayet

● Cas des étoiles de $60 M_{\odot} < M < 100 M_{\odot}$

● Une fin violente : l'étoile à neutrons

Observation de l'évolution stellaire

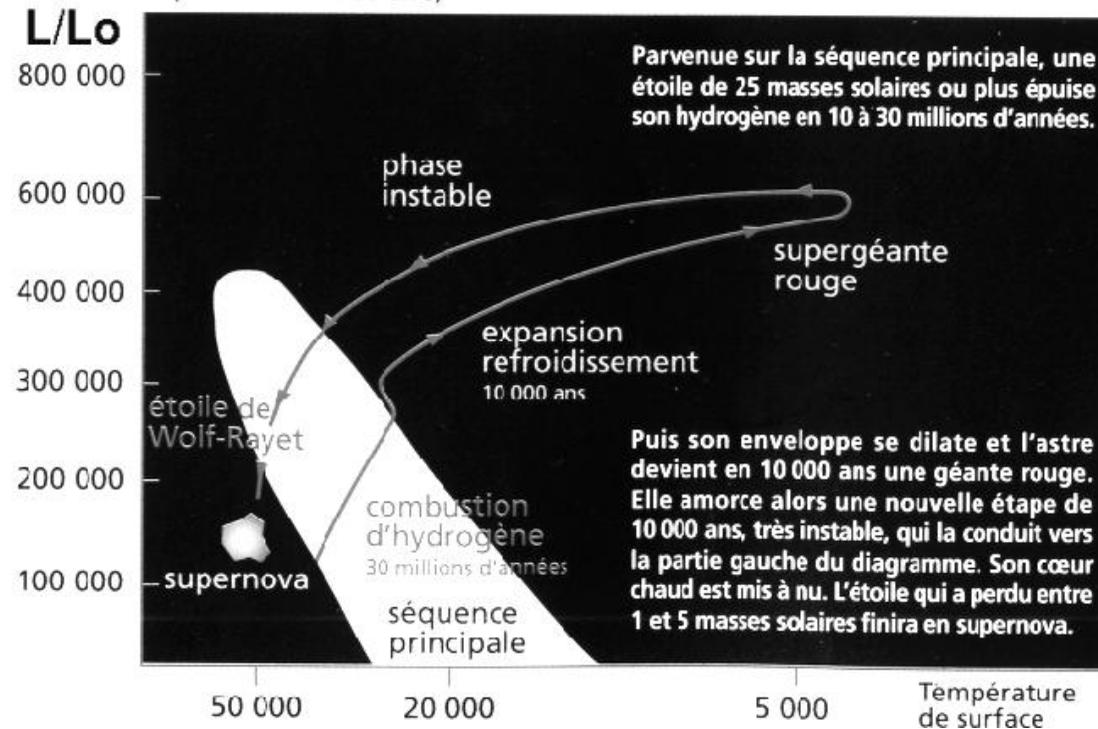
Conclusion

Annexes



Une vie brève...

1. Combustion de H : moins de 10 millions d'années ;



2. Synthèse de C et N : combustion en coquilles ;

3. Forte expansion → SGR ;

4. Instabilités : selon la métallicité → WRN ;

5. Arrive la synthèse de Fe : effondrement brutal en **supernova (SN)**.

Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

● Une vie brève...

● Les étoiles de Wolf-Rayet

● Cas des étoiles de $60 M_{\odot} < M < 100 M_{\odot}$

● Une fin violente : l'étoile à neutrons

Observation de l'évolution stellaire

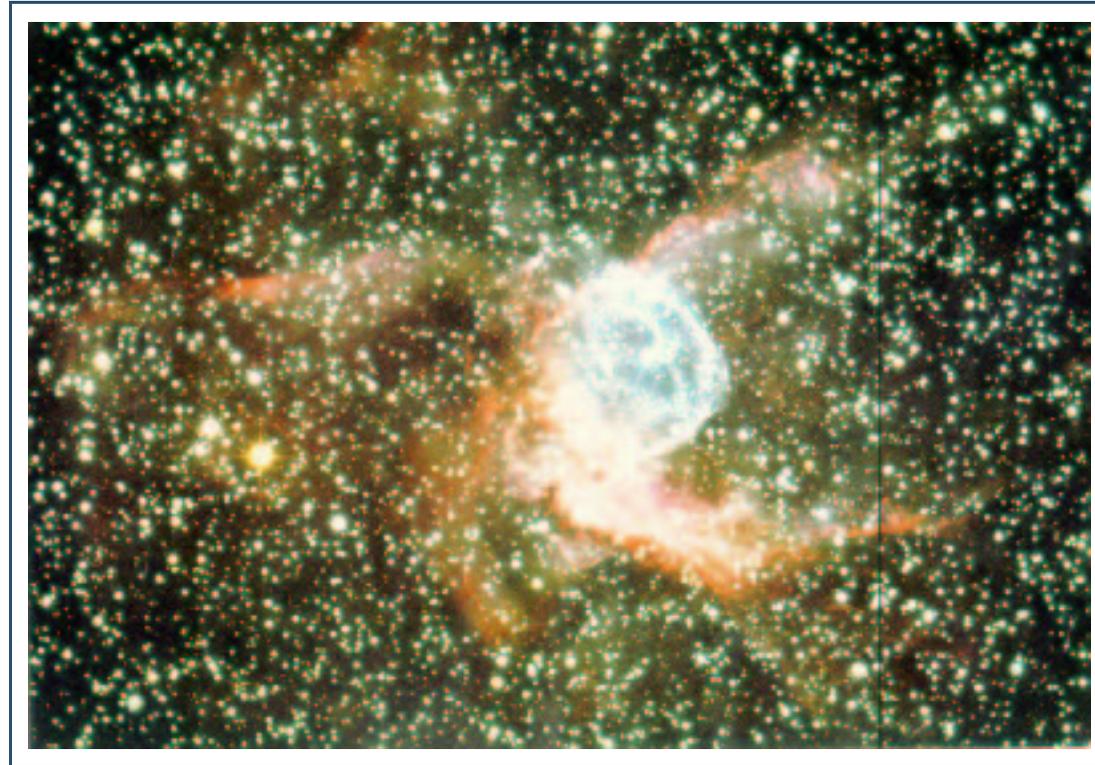
Conclusion

Annexes



Les étoiles de Wolf-Rayet

- Deux origines aux WR : si $M > 60 M_{\odot}$ ou couples stellaires massifs.



Bételgeuse, $800 R_{\odot}$, deviendra une WR.

●
Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

● Une vie brève...

● Les étoiles de Wolf-Rayet

● Cas des étoiles de $60 M_{\odot} < M < 100 M_{\odot}$

● Une fin violente : l'étoile à neutrons

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes



Les étoiles de Wolf-Rayet

- Deux origines aux WR : si $M > 60 M_{\odot}$ ou couples stellaires massifs.



Bételgeuse, $800 R_{\odot}$, deviendra une WR.

- Combustion à haute température de H :

●
Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

● Une vie brève...

● Les étoiles de Wolf-Rayet

● Cas des étoiles de $60 M_{\odot} < M < 100 M_{\odot}$

● Une fin violente : l'étoile à neutrons

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes



Les étoiles de Wolf-Rayet

- Deux origines aux WR : si $M > 60 M_{\odot}$ ou couples stellaires massifs.



Bételgeuse, $800 R_{\odot}$, deviendra une WR.

- Combustion à haute température de H :
 - ◆ création de He, C et N \implies WRN.

●
Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

● Une vie brève...

● Les étoiles de Wolf-Rayet

● Cas des étoiles de $60 M_{\odot} < M < 100 M_{\odot}$

● Une fin violente : l'étoile à neutrons

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes



Les étoiles de Wolf-Rayet

- Deux origines aux WR : si $M > 60 M_{\odot}$ ou couples stellaires massifs.



Bételgeuse, $800 R_{\odot}$, deviendra une WR.

- Combustion à haute température de H :
 - ◆ création de He, C et N \implies WRN.
 - ◆ énormes pertes de masses : 40% volatilisée.

●
Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

● Une vie brève...

● Les étoiles de Wolf-Rayet

● Cas des étoiles de $60 M_{\odot} < M < 100 M_{\odot}$

● Une fin violente : l'étoile à neutrons

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes



Les étoiles de Wolf-Rayet

- Deux origines aux WR : si $M > 60 M_{\odot}$ ou couples stellaires massifs.



Bételgeuse, $800 R_{\odot}$, deviendra une WR.

- Combustion à haute température de H :
 - ◆ création de He, C et N \implies WRN.
 - ◆ énormes pertes de masses : 40% volatilisée.
 - ◆ vents violents : 3000 km/s .

●
Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

● Une vie brève...

● Les étoiles de Wolf-Rayet

● Cas des étoiles de $60 M_{\odot} < M < 100 M_{\odot}$

● Une fin violente : l'étoile à neutrons

Observation de l'évolution stellaire

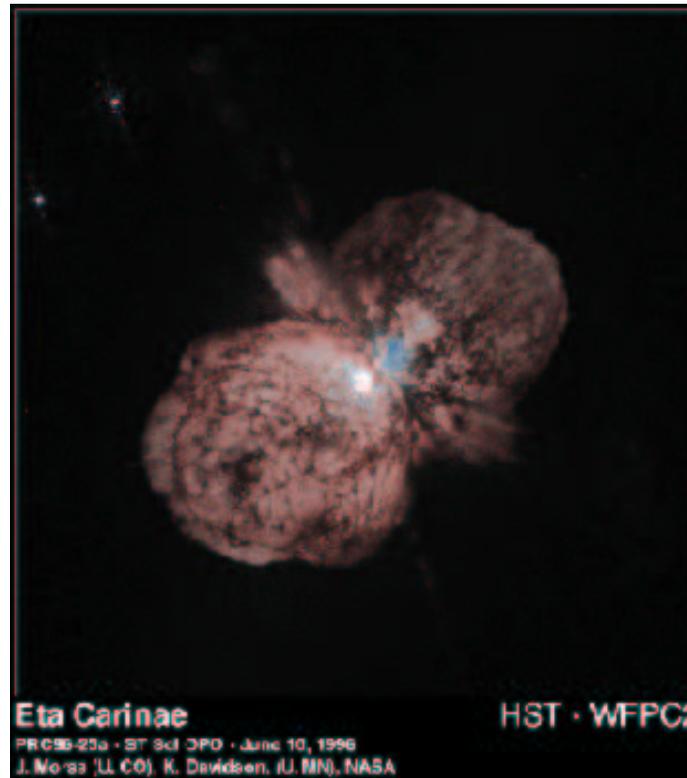
Conclusion

Annexes



Cas des étoiles de $60 M_{\odot} < M < 100 M_{\odot}$

- L'étonnante histoire d'Éta Carinae et son homuncule :



●
Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

● Une vie brève...

● Les étoiles de Wolf-Rayet

● Cas des étoiles de $60 M_{\odot} < M < 100 M_{\odot}$

● Une fin violente : l'étoile à neutrons

Observation de l'évolution stellaire

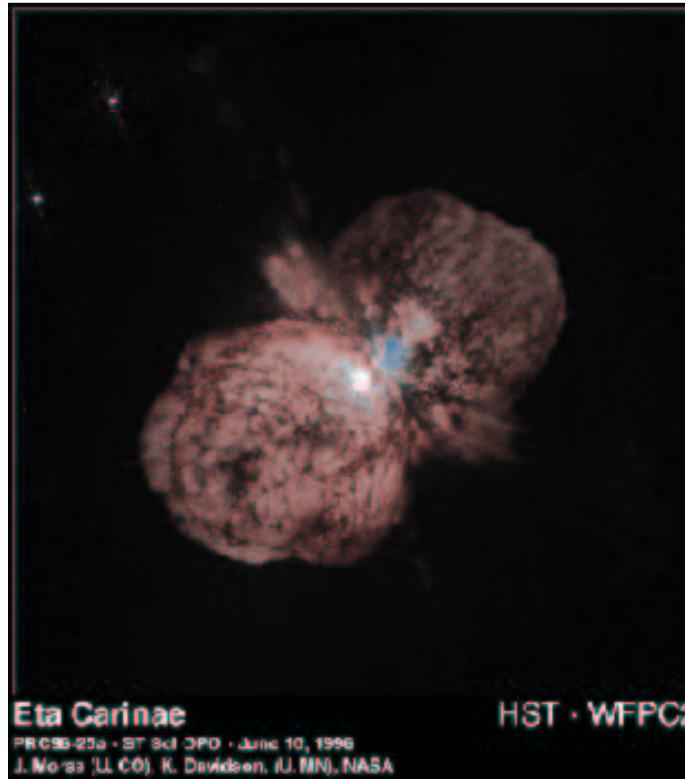
Conclusion

Annexes



Cas des étoiles de $60 M_{\odot} < M < 100 M_{\odot}$

- L'étonnante histoire d'Éta Carinae et son homuncule :



- ◆ 2^e étoile la plus brillante du ciel en 1830.

●
Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

● Une vie brève...

● Les étoiles de Wolf-Rayet

● Cas des étoiles de $60 M_{\odot} < M < 100 M_{\odot}$

● Une fin violente : l'étoile à neutrons

Observation de l'évolution stellaire

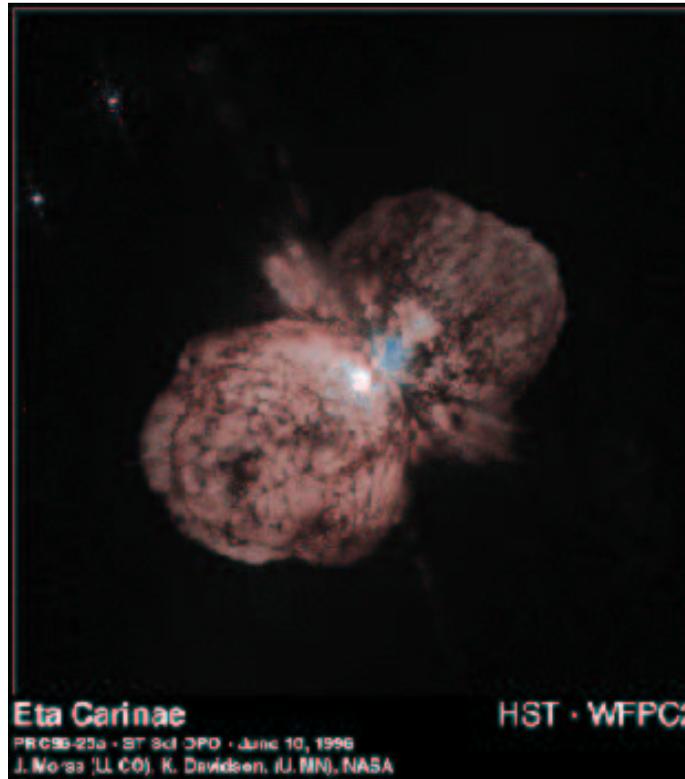
Conclusion

Annexes



Cas des étoiles de $60 M_{\odot} < M < 100 M_{\odot}$

■ L'étonnante histoire d'Éta Carinae et son homuncule :



- ◆ 2^e étoile la plus brillante du ciel en 1830.
- ◆ couple stellaire de $64-68 M_{\odot}$ et $65-71 M_{\odot}$!

●
Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

● Une vie brève...

● Les étoiles de Wolf-Rayet

● Cas des étoiles de $60 M_{\odot} < M < 100 M_{\odot}$

● Une fin violente : l'étoile à neutrons

Observation de l'évolution stellaire

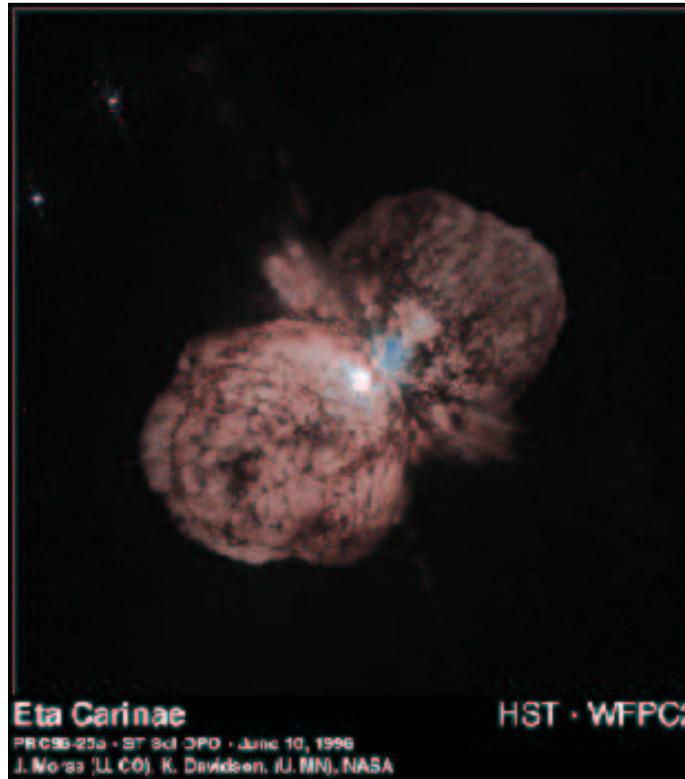
Conclusion

Annexes



Cas des étoiles de $60 M_{\odot} < M < 100 M_{\odot}$

■ L'étonnante histoire d'Éta Carinae et son homuncule :



- ◆ 2^e étoile la plus brillante du ciel en 1830.
- ◆ couple stellaire de $64-68 M_{\odot}$ et $65-71 M_{\odot}$!

■ Un explosion fatale dans 500 000 ans : SN.

● Introduction

● Des types d'étoiles...

● Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

● Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

● Une vie brève...

● Les étoiles de Wolf-Rayet

● Cas des étoiles de $60 M_{\odot} < M < 100 M_{\odot}$

● Une fin violente : l'étoile à neutrons

● Observation de l'évolution stellaire

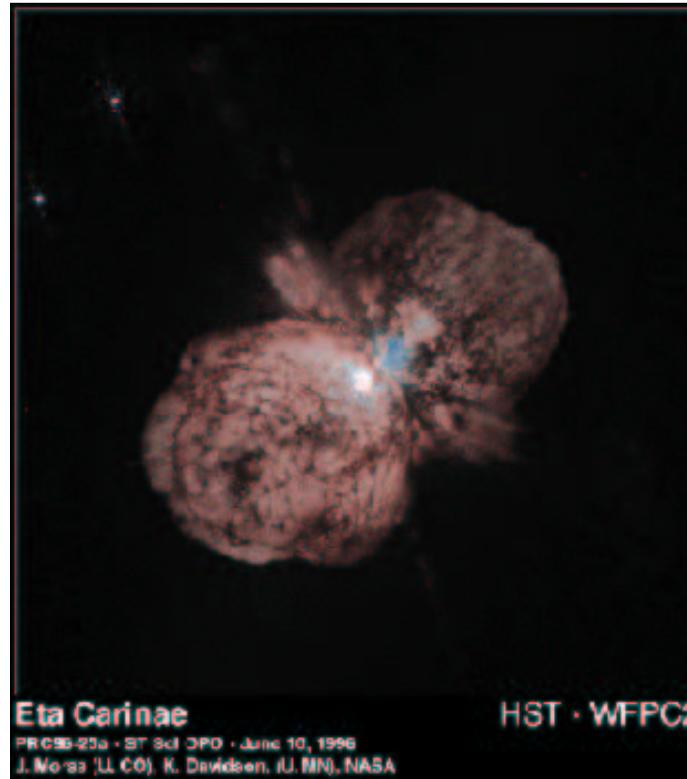
● Conclusion

● Annexes



Cas des étoiles de $60 M_{\odot} < M < 100 M_{\odot}$

■ L'étonnante histoire d'Éta Carinae et son homuncule :



- ◆ 2^e étoile la plus brillante du ciel en 1830.
- ◆ couple stellaire de $64-68 M_{\odot}$ et $65-71 M_{\odot}$!

- Un explosion fatale dans 500 000 ans : SN.
- Si $M > 100 M_{\odot}$: l'étoile s'évapore dès le départ.

● Introduction

● Des types d'étoiles...

● Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

● Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

● Une vie brève...

● Les étoiles de Wolf-Rayet

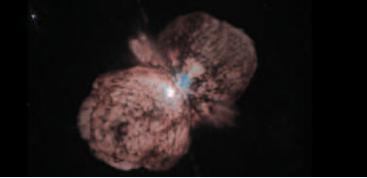
● Cas des étoiles de $60 M_{\odot} < M < 100 M_{\odot}$

● Une fin violente : l'étoile à neutrons

● Observation de l'évolution stellaire

● Conclusion

● Annexes



Une fin violente : l'étoile à neutrons

- **La synthèse du fer** : une réaction ne produisant pas d'énergie.

●

Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à
 $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à
 $8 M_{\odot}$

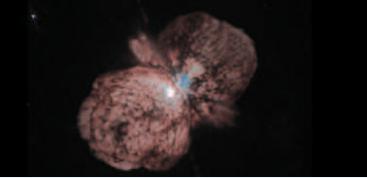
- Une vie brève...
- Les étoiles de Wolf-Rayet
- Cas des étoiles de
 $60 M_{\odot} < M < 100 M_{\odot}$

● **Une fin violente : l'étoile à neutrons**

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes



Une fin violente : l'étoile à neutrons

- **La synthèse du fer** : une réaction ne produisant pas d'énergie.
- \implies effondrement des couches proches du noyau de fer.

●

Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à
 $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à
 $8 M_{\odot}$

● Une vie brève...

● Les étoiles de Wolf-Rayet

● Cas des étoiles de
 $60 M_{\odot} < M < 100 M_{\odot}$

● Une fin violente : l'étoile à
neutrons

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes



Une fin violente : l'étoile à neutrons

- **La synthèse du fer** : une réaction ne produisant pas d'énergie.
- \implies effondrement des couches proches du noyau de fer.

- Rebond violent de l'onde de choc sur le noyau :

●

Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

● Une vie brève...

● Les étoiles de Wolf-Rayet

● Cas des étoiles de $60 M_{\odot} < M < 100 M_{\odot}$

● Une fin violente : l'étoile à neutrons

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes



Une fin violente : l'étoile à neutrons

- **La synthèse du fer** : une réaction ne produisant pas d'énergie.
- \implies effondrement des couches proches du noyau de fer.

- Rebond violent de l'onde de choc sur le noyau :
 - ◆ création d'éléments lourds.

●

Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

● Une vie brève...

● Les étoiles de Wolf-Rayet

● Cas des étoiles de $60 M_{\odot} < M < 100 M_{\odot}$

● Une fin violente : l'étoile à neutrons

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes



Une fin violente : l'étoile à neutrons

- **La synthèse du fer** : une réaction ne produisant pas d'énergie.
- \implies effondrement des couches proches du noyau de fer.

- Rebond violent de l'onde de choc sur le noyau :
 - ◆ création d'éléments lourds.
 - ◆ emporte toute les couches périphériques.

●

Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

● Une vie brève...

● Les étoiles de Wolf-Rayet

● Cas des étoiles de $60 M_{\odot} < M < 100 M_{\odot}$

● Une fin violente : l'étoile à neutrons

Observation de l'évolution stellaire

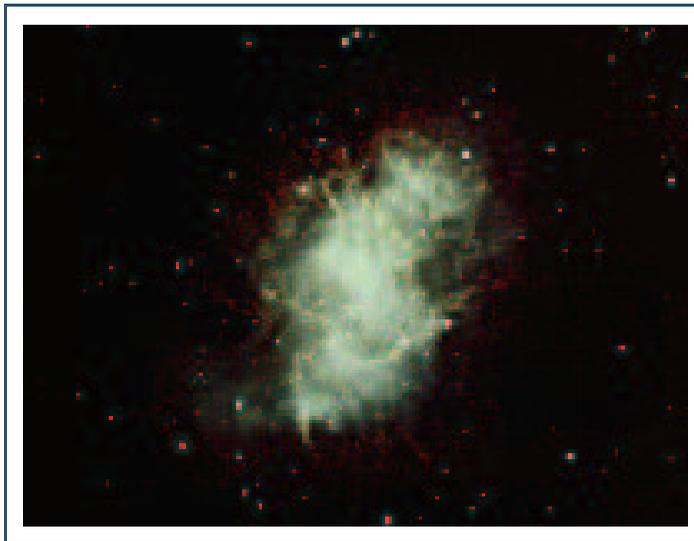
Conclusion

Annexes



Une fin violente : l'étoile à neutrons

- **La synthèse du fer** : une réaction ne produisant pas d'énergie.
- \implies effondrement des couches proches du noyau de fer.
- Rebond violent de l'onde de choc sur le noyau :
 - ◆ création d'éléments lourds.
 - ◆ emporte toute les couches périphériques.
- Reste une **étoile à neutrons (EN)** entourée d'une **supernova (SN)** :



- ◆ $R = 10 \text{ km} !$
- ◆ $d = 100 \text{ t/cm}^3 !!$

Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

- Une vie brève...
- Les étoiles de Wolf-Rayet
- Cas des étoiles de $60 M_{\odot} < M < 100 M_{\odot}$

● Une fin violente : l'étoile à neutrons

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes

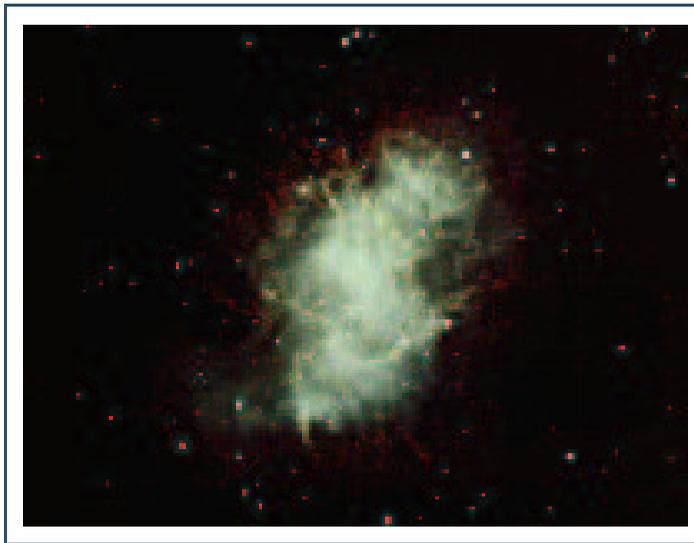


Une fin violente : l'étoile à neutrons

- **La synthèse du fer** : une réaction ne produisant pas d'énergie.
- \implies effondrement des couches proches du noyau de fer.

- Rebond violent de l'onde de choc sur le noyau :
 - ◆ création d'éléments lourds.
 - ◆ emporte toute les couches périphériques.

- Reste une **étoile à neutrons (EN)** entourée d'une **supernova (SN)** :



- ◆ $R = 10 \text{ km}!$
- ◆ $d = 100 \text{ t/cm}^3 !!$

- Si $M_{en} > 3 M_{\odot}$: contraction en **trou noir**...

Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

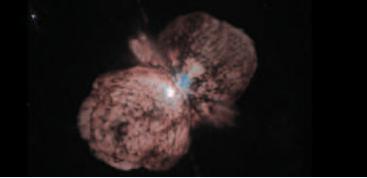
- Une vie brève...
- Les étoiles de Wolf-Rayet
- Cas des étoiles de $60 M_{\odot} < M < 100 M_{\odot}$

● Une fin violente : l'étoile à neutrons

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes



Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à
 $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à
 $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

- La température des étoiles
- Les nébuleuses planétaires
- Les étoiles de Wolf-Rayet
- Les supernovæ

Conclusion

Annexes

Observation de l'évolution stellaire



La température des étoiles

■ Le bleu des Pléiades :



Photo : Jean-David Gallet.

●

Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à
8 M_{\odot}

Les étoiles de masse supérieure à
8 M_{\odot}

Observation de l'évolution stellaire

● La température des étoiles

● Les nébuleuses planétaires

● Les étoiles de Wolf-Rayet

● Les supernovæ

Conclusion

Annexes



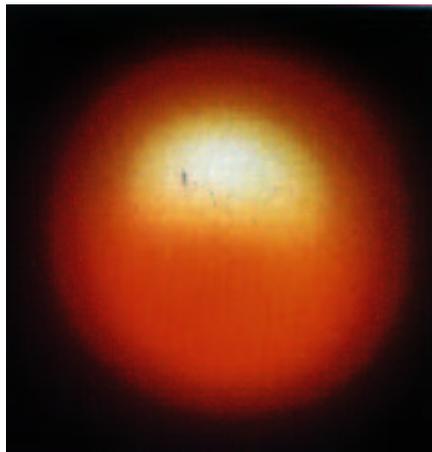
La température des étoiles

■ Le bleu des Pléiades :



Photo : Jean-David Gallet.

■ Bételgeuse, la géante rouge hivernale :



Reconstitution interférométrique de l'atmosphère de Bételgeuse.

●
Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

● La température des étoiles

● Les nébuleuses planétaires

● Les étoiles de Wolf-Rayet

● Les supernovæ

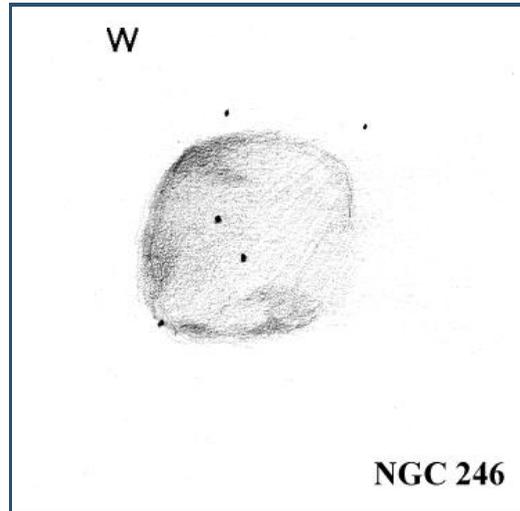
Conclusion

Annexes



Les nébuleuses planétaires

■ Les sphériques : NGC 246.



B. Mauclaire, T630×200, OIII.

●
Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à
 $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à
 $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

- La température des étoiles
- Les nébuleuses planétaires
- Les étoiles de Wolf-Rayet
- Les supernovæ

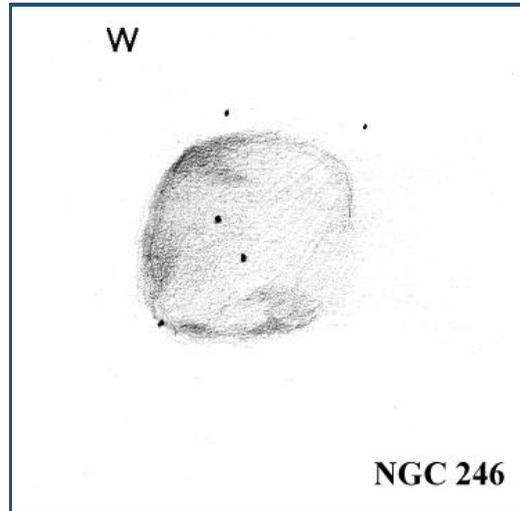
Conclusion

Annexes



Les nébuleuses planétaires

■ Les sphériques : NGC 246.



B. Mauclaire, T630×200, OIII.

■ Mais aussi les bipolaires...comme NGC 6302 :



B. Mauclaire, T450×260, OIII.

Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

● La température des étoiles

● Les nébuleuses planétaires

● Les étoiles de Wolf-Rayet

● Les supernovæ

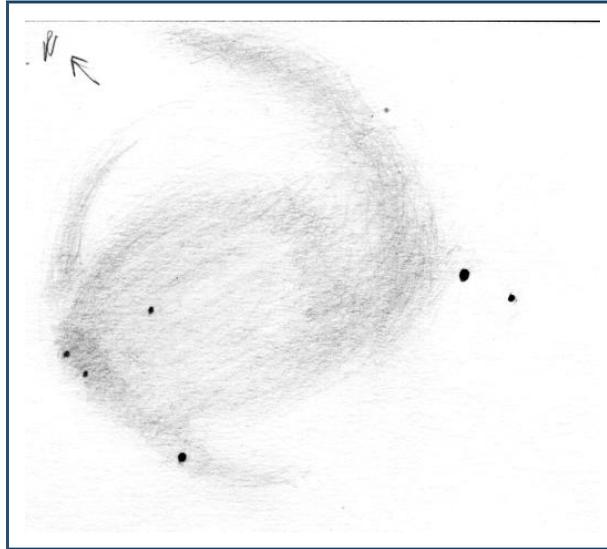
Conclusion

Annexes



Les étoiles de Wolf-Rayet

■ NGC 2359, “le casque de Thor” :



B. Mauclaire, T450× 150, UHC.

Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

- La température des étoiles
- Les nébuleuses planétaires
- Les étoiles de Wolf-Rayet
- Les supernovæ

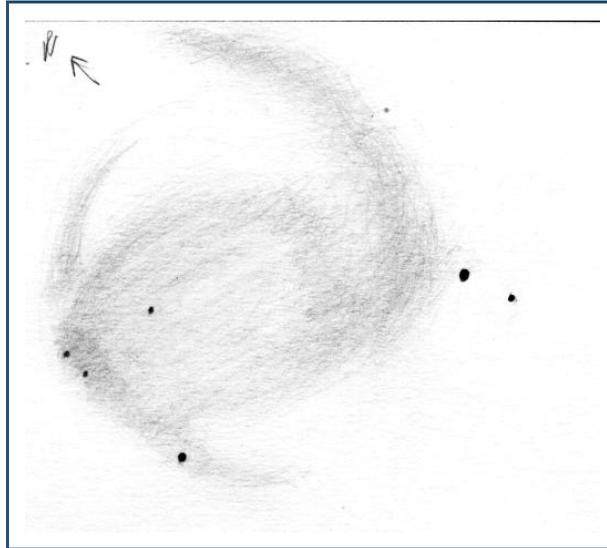
Conclusion

Annexes



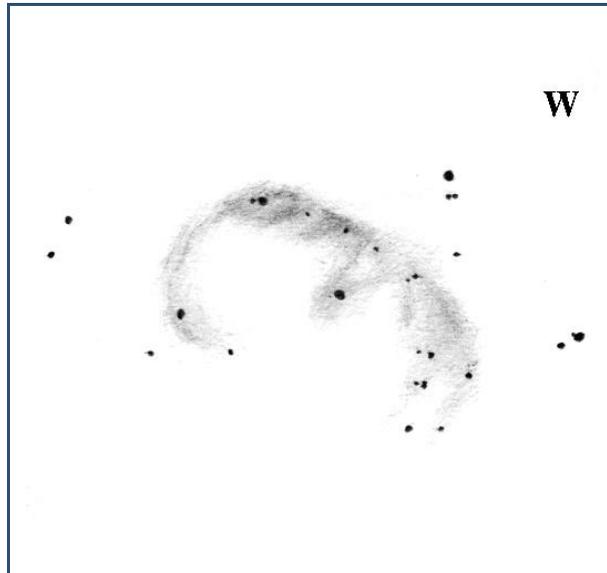
Les étoiles de Wolf-Rayet

■ NGC 2359, “le casque de Thor” :



B. Mauclaire, T450× 150, UHC.

■ NGC 6888, “la nébuleuse du croissant” :



B. Mauclaire, T450× 150, UHC.

Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

● La température des étoiles

● Les nébuleuses planétaires

● Les étoiles de Wolf-Rayet

● Les supernovæ

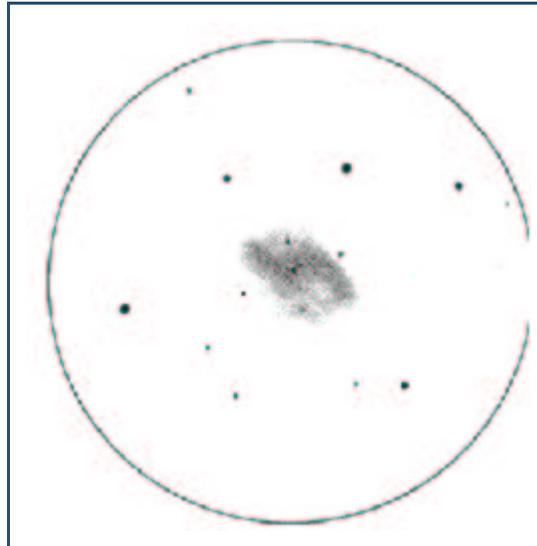
Conclusion

Annexes



Les supernovæ

■ M 1, “la nébuleuse du crabe” :



E. Pelegrin, T200× 150.

●
Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à
 $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à
 $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

- La température des étoiles
- Les nébuleuses planétaires
- Les étoiles de Wolf-Rayet
- Les supernovæ

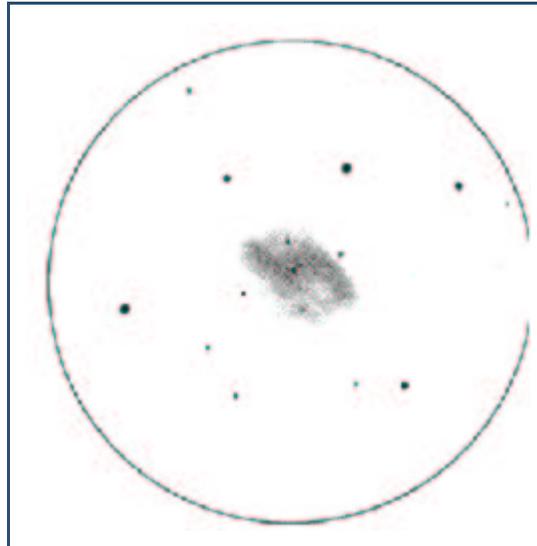
Conclusion

Annexes



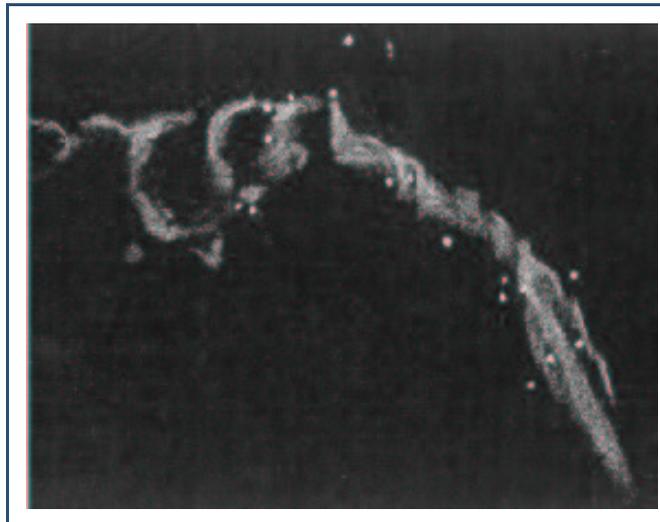
Les supernovæ

■ M 1, “la nébuleuse du crabe” :



E. Pelegrin, T200× 150.

■ NGC 6992, “les dentelles du Cygne” :



G. Meuriot, T500× 160, OIII.

●
Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à
 $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à
 $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

● La température des étoiles

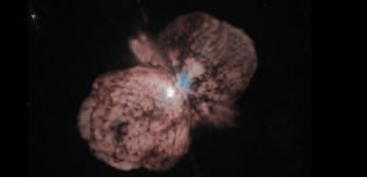
● Les nébuleuses planétaires

● Les étoiles de Wolf-Rayet

● Les supernovæ

Conclusion

Annexes



[Introduction](#)

[Des types d'étoiles...](#)

[Les étoiles de masse inférieure à
8 \$M_{\odot}\$](#)

[Les étoiles de masse supérieure à
8 \$M_{\odot}\$](#)

[Observation de l'évolution stellaire](#)

[Conclusion](#)

● [Conclusion](#)

[Annexes](#)

Conclusion



Conclusion

- La vie des étoiles n'est pas aussi paisible que l'on peut le croire.

●

Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à
8 M_{\odot}

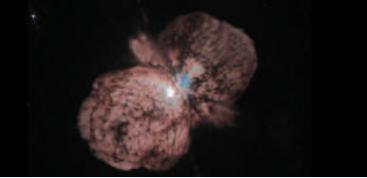
Les étoiles de masse supérieure à
8 M_{\odot}

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

● Conclusion

Annexes



Conclusion



Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à
 $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à
 $8 M_{\odot}$

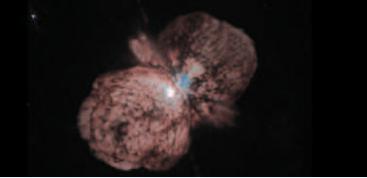
Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

● Conclusion

Annexes

- La vie des étoiles n'est pas aussi paisible que l'on peut le croire.
- Tumulte et vents violents pour les étoiles massives...



Conclusion



Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à
 $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à
 $8 M_{\odot}$

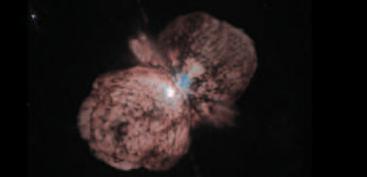
Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

● Conclusion

Annexes

- La vie des étoiles n'est pas aussi paisible que l'on peut le croire.
- Tumulte et vents violents pour les étoiles massives. . .
- Même le Soleil vivra des soubressauts.



Conclusion



Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à
 $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à
 $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

● Conclusion

Annexes

- La vie des étoiles n'est pas aussi paisible que l'on peut le croire.
- Tumulte et vents violents pour les étoiles massives. . .
- Même le Soleil vivra des soubressauts.
- Au final : les étoiles offrent à l'Univers la matière qu'elles ont généré.



Conclusion

- La vie des étoiles n'est pas aussi paisible que l'on peut le croire.
- Tumulte et vents violents pour les étoiles massives. . .
- Même le Soleil vivra des soubressauts.
- Au final : les étoiles offrent à l'Univers la matière qu'elles ont généré.
- Texte complet de la conférence disponible à :

<http://bmauclaire.free.fr/astromie/np>



●

Introduction

Des types d'étoiles. . .

Les étoiles de masse inférieure à
8 M_{\odot}

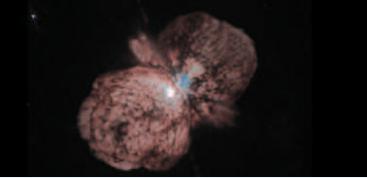
Les étoiles de masse supérieure à
8 M_{\odot}

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

● Conclusion

Annexes



[Introduction](#)

[Des types d'étoiles...](#)

[Les étoiles de masse inférieure à
8 \$M_{\odot}\$](#)

[Les étoiles de masse supérieure à
8 \$M_{\odot}\$](#)

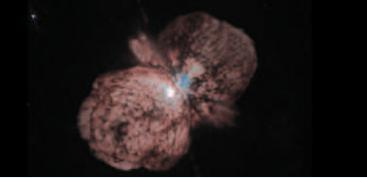
[Observation de l'évolution stellaire](#)

[Conclusion](#)

Annexes

- $M > 8 M_{\odot}$: variantes selon la masse
- $M > 8 M_{\odot}$: variantes selon la masse

Annexes



$M > 8 M_{\odot}$: variantes selon la masse



Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes

● $M > 8 M_{\odot}$: variantes selon la masse

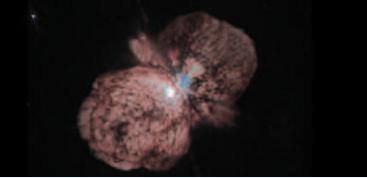
● $M > 8 M_{\odot}$: variantes selon la masse

■ Si $0.08 M_{\odot} < M < 0.5 M_{\odot}$:

◆ Pas de fusion de He.

◆ Restent sur la SP.

◆ Vie de plusieurs dizaines de milliards d'années.



$M > 8 M_{\odot}$: variantes selon la masse

Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes

● $M > 8 M_{\odot}$: variantes selon la masse

● $M > 8 M_{\odot}$: variantes selon la masse

- Si $0.08 M_{\odot} < M < 0.5 M_{\odot}$:
 - ◆ Pas de fusion de He.
 - ◆ Restent sur la SP.
 - ◆ Vie de plusieurs dizaines de milliards d'années.
- Si $0.5 M_{\odot} < M < 2.25 M_{\odot}$:
 - ◆ C'est le cas du Soleil.
 - ◆ Noyau partiellement dégénéré : combustion de He calme.
 - ◆ Flash de l'hélium = géante rouge → NP.



$M > 8 M_{\odot}$: variantes selon la masse

Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes

● $M > 8 M_{\odot}$: variantes selon la masse

● $M > 8 M_{\odot}$: variantes selon la masse

- Si $0.08 M_{\odot} < M < 0.5 M_{\odot}$:
 - ◆ Pas de fusion de He.
 - ◆ Restent sur la SP.
 - ◆ Vie de plusieurs dizaines de milliards d'années.
- Si $0.5 M_{\odot} < M < 2.25 M_{\odot}$:
 - ◆ C'est le cas du Soleil.
 - ◆ Noyau partiellement dégénéré : combustion de He calme.
 - ◆ Flash de l'hélium = géante rouge → NP.
- Si $2.25 M_{\odot} < M < 4-6 M_{\odot}$:
 - ◆ Noyau : réactions énergétiques sur He (cycle CNO).
 - ◆ ⇒ variations de luminosité.
 - ◆ ⇒ boucles de la géante rouge.
 - ◆ Pertes de masses → NP.
 - ◆ Sinon : flash du carbone → SN.



$M > 8 M_{\odot}$: variantes selon la masse

Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

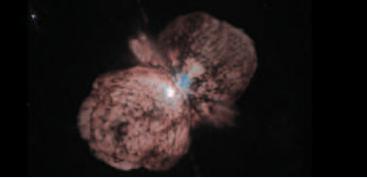
Conclusion

Annexes

● $M > 8 M_{\odot}$: variantes selon la masse

● $M > 8 M_{\odot}$: variantes selon la masse

- Si $0.08 M_{\odot} < M < 0.5 M_{\odot}$:
 - ◆ Pas de fusion de He.
 - ◆ Restent sur la SP.
 - ◆ Vie de plusieurs dizaines de milliards d'années.
- Si $0.5 M_{\odot} < M < 2.25 M_{\odot}$:
 - ◆ C'est le cas du Soleil.
 - ◆ Noyau partiellement dégénéré : combustion de He calme.
 - ◆ Flash de l'hélium = géante rouge → NP.
- Si $2.25 M_{\odot} < M < 4-6 M_{\odot}$:
 - ◆ Noyau : réactions énergétiques sur He (cycle CNO).
 - ◆ ⇒ variations de luminosité.
 - ◆ ⇒ boucles de la géante rouge.
 - ◆ Pertes de masses → NP.
 - ◆ Sinon : flash du carbone → SN.
- Si $6 M_{\odot} < M < 9 M_{\odot}$:
 - **Wolf-Rayet carbonée** créant une NP.



$M > 8 M_{\odot}$: variantes selon la masse



Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

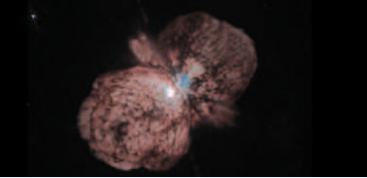
Conclusion

Annexes

● $M > 8 M_{\odot}$: variantes selon la masse

● $M > 8 M_{\odot}$: variantes selon la masse

- Si $8 M_{\odot} < M < 12 M_{\odot}$:
 - ◆ synthèse de C et N.
 - ◆ coquille de combustion de H.
 - ◆ quelques pertes de masse.



$M > 8 M_{\odot}$: variantes selon la masse



Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes

● $M > 8 M_{\odot}$: variantes selon la masse

● $M > 8 M_{\odot}$: variantes selon la masse

- Si $8 M_{\odot} < M < 12 M_{\odot}$:
 - ◆ synthèse de C et N.
 - ◆ coquille de combustion de H.
 - ◆ quelques pertes de masse.

- Si $12 M_{\odot} < M < 30 M_{\odot}$:
 - ◆ étoile bleue supergéante : *Deneb*.
 - ◆ fortes modifications internes : convection.
 - ◆ → gonflement-dégonflement.



$M > 8 M_{\odot}$: variantes selon la masse

Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes

● $M > 8 M_{\odot}$: variantes selon la masse

● $M > 8 M_{\odot}$: variantes selon la masse

- Si $8 M_{\odot} < M < 12 M_{\odot}$:
 - ◆ synthèse de C et N.
 - ◆ coquille de combustion de H.
 - ◆ quelques pertes de masse.

- Si $12 M_{\odot} < M < 30 M_{\odot}$:
 - ◆ étoile bleue supergéante : *Deneb*.
 - ◆ fortes modifications internes : convection.
 - ◆ → gonflement-dégonflement.

- Si $30 M_{\odot} < M < 60 M_{\odot}$:
 - ◆ combustion H très chaude → WRN.
 - ◆ deux origines aux WR :



$M > 8 M_{\odot}$: variantes selon la masse

Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes

● $M > 8 M_{\odot}$: variantes selon la masse

● $M > 8 M_{\odot}$: variantes selon la masse

- Si $8 M_{\odot} < M < 12 M_{\odot}$:
 - ◆ synthèse de C et N.
 - ◆ coquille de combustion de H.
 - ◆ quelques pertes de masse.

- Si $12 M_{\odot} < M < 30 M_{\odot}$:
 - ◆ étoile bleue supergéante : *Deneb*.
 - ◆ fortes modifications internes : convection.
 - ◆ → gonflement-dégonflement.

- Si $30 M_{\odot} < M < 60 M_{\odot}$:
 - ◆ combustion H très chaude → WRN.
 - ◆ deux origines aux WR :
 1. Étoile solitaire de $60 M_{\odot}$: $\text{He} \rightarrow \text{He}, \text{C}, \text{N}$;



$M > 8 M_{\odot}$: variantes selon la masse

Introduction

Des types d'étoiles...

Les étoiles de masse inférieure à $8 M_{\odot}$

Les étoiles de masse supérieure à $8 M_{\odot}$

Observation de l'évolution stellaire

Conclusion

Annexes

● $M > 8 M_{\odot}$: variantes selon la masse

● $M > 8 M_{\odot}$: variantes selon la masse

- Si $8 M_{\odot} < M < 12 M_{\odot}$:
 - ◆ synthèse de C et N.
 - ◆ coquille de combustion de H.
 - ◆ quelques pertes de masse.

- Si $12 M_{\odot} < M < 30 M_{\odot}$:
 - ◆ étoile bleue supergéante : *Deneb*.
 - ◆ fortes modifications internes : convection.
 - ◆ → gonflement-dégonflement.

- Si $30 M_{\odot} < M < 60 M_{\odot}$:
 - ◆ combustion H très chaude → WRN.
 - ◆ deux origines aux WR :
 1. Étoile solitaire de $60 M_{\odot}$: $\text{He} \rightarrow \text{He}, \text{C}, \text{N}$;
 2. Couple massif : le plus massif est dépouillé.