



LES ÉTOILES MASSIVES

François Mernier

Modave, Pâques 2013

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION

ÉTOILES MASSIVES : PRÉSENTATION

ÉTOILES MASSIVES ET LEURS ENVIRONNEMENTS

QUESTIONS ET MYSTÈRES...

INTRODUCTION

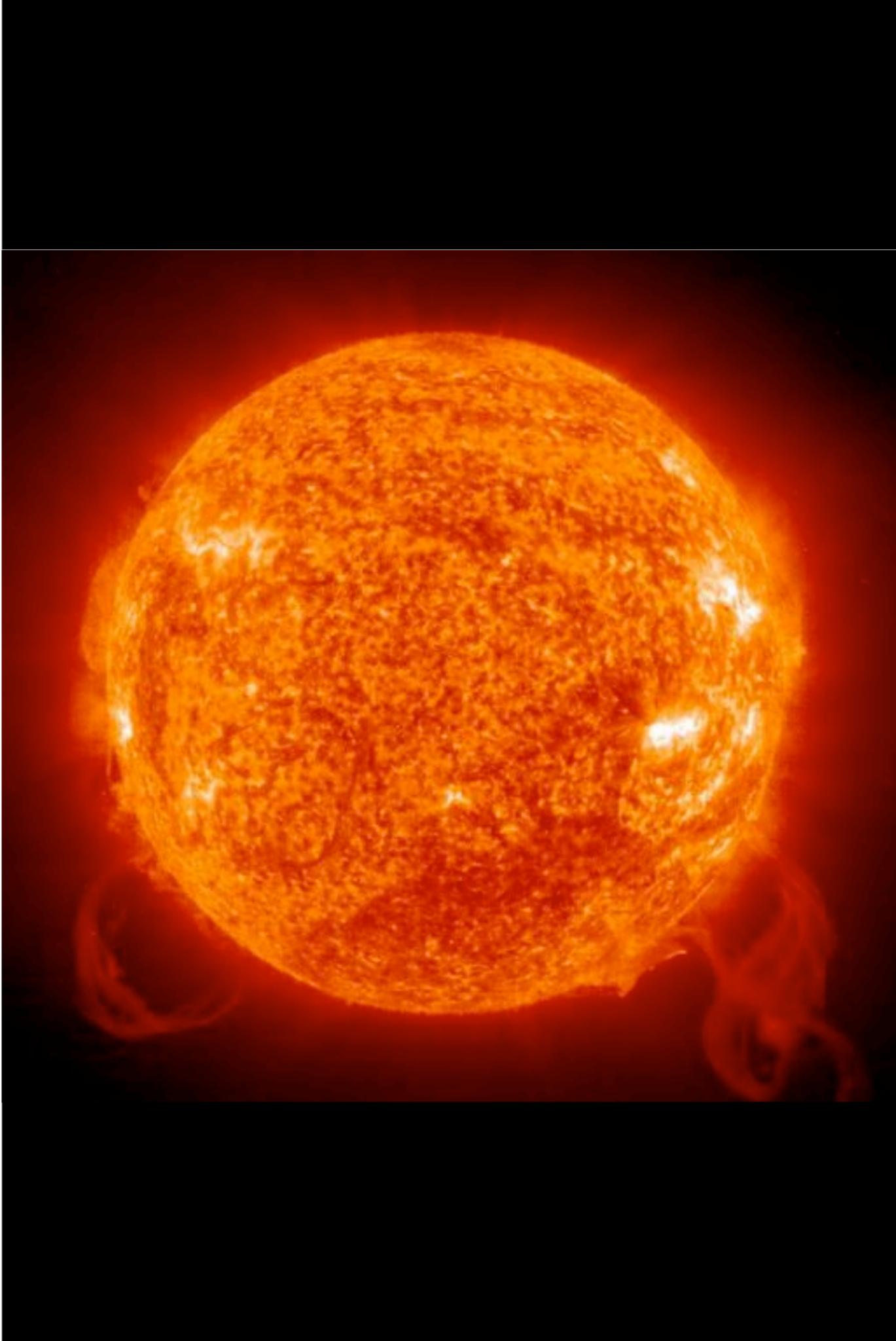
Qu'est-ce qu'une étoile ?

Spectres d'étoiles

Le diagramme Hertzsprung-Russel

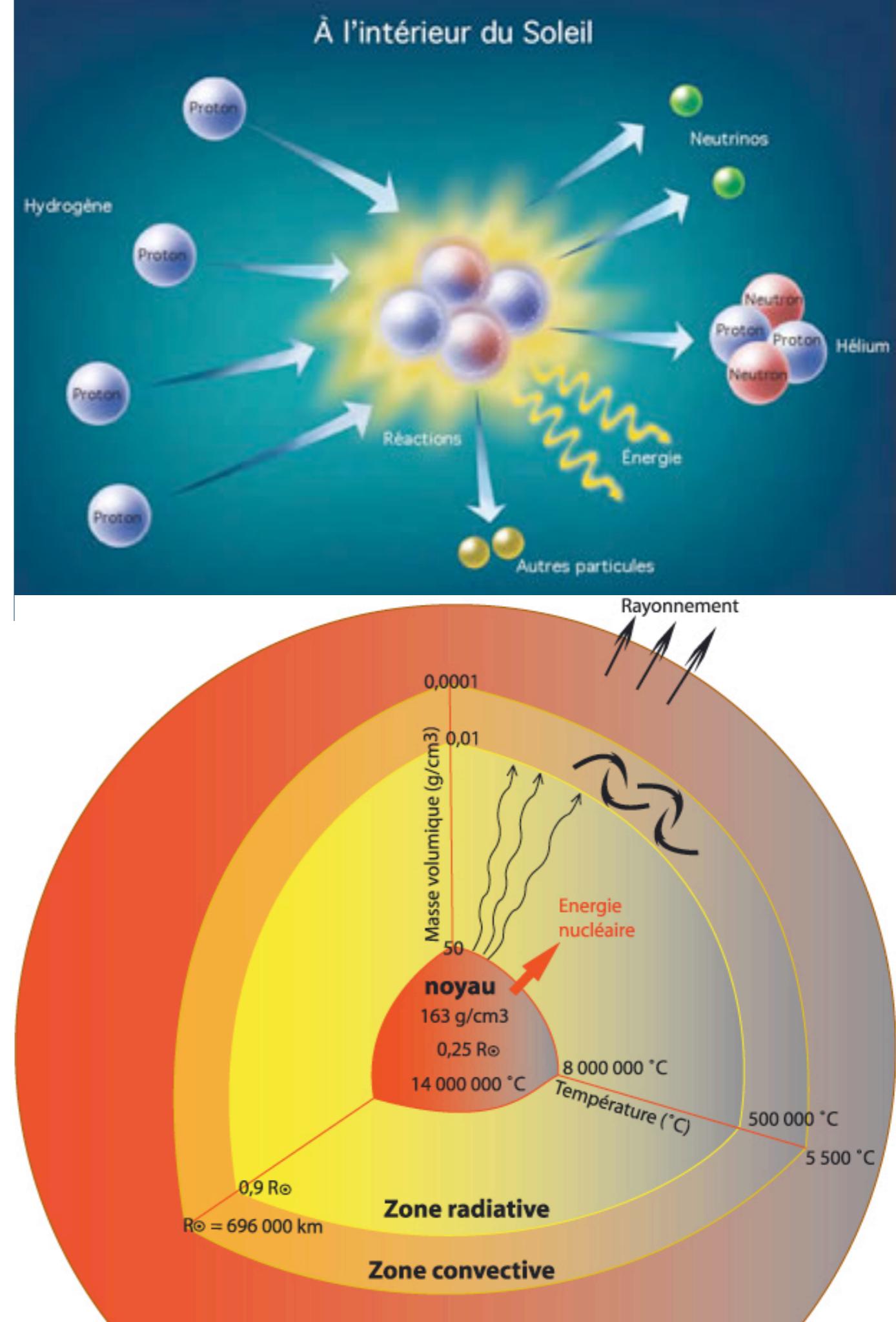
QU'EST-CE QU'UNE ÉTOILE ?

- *Boule de plasma*
- Combustions nucléaires
- Eléments de base : H et He
- Equilibre hydrostatique
- Lumière (IR, visible, UV,...)



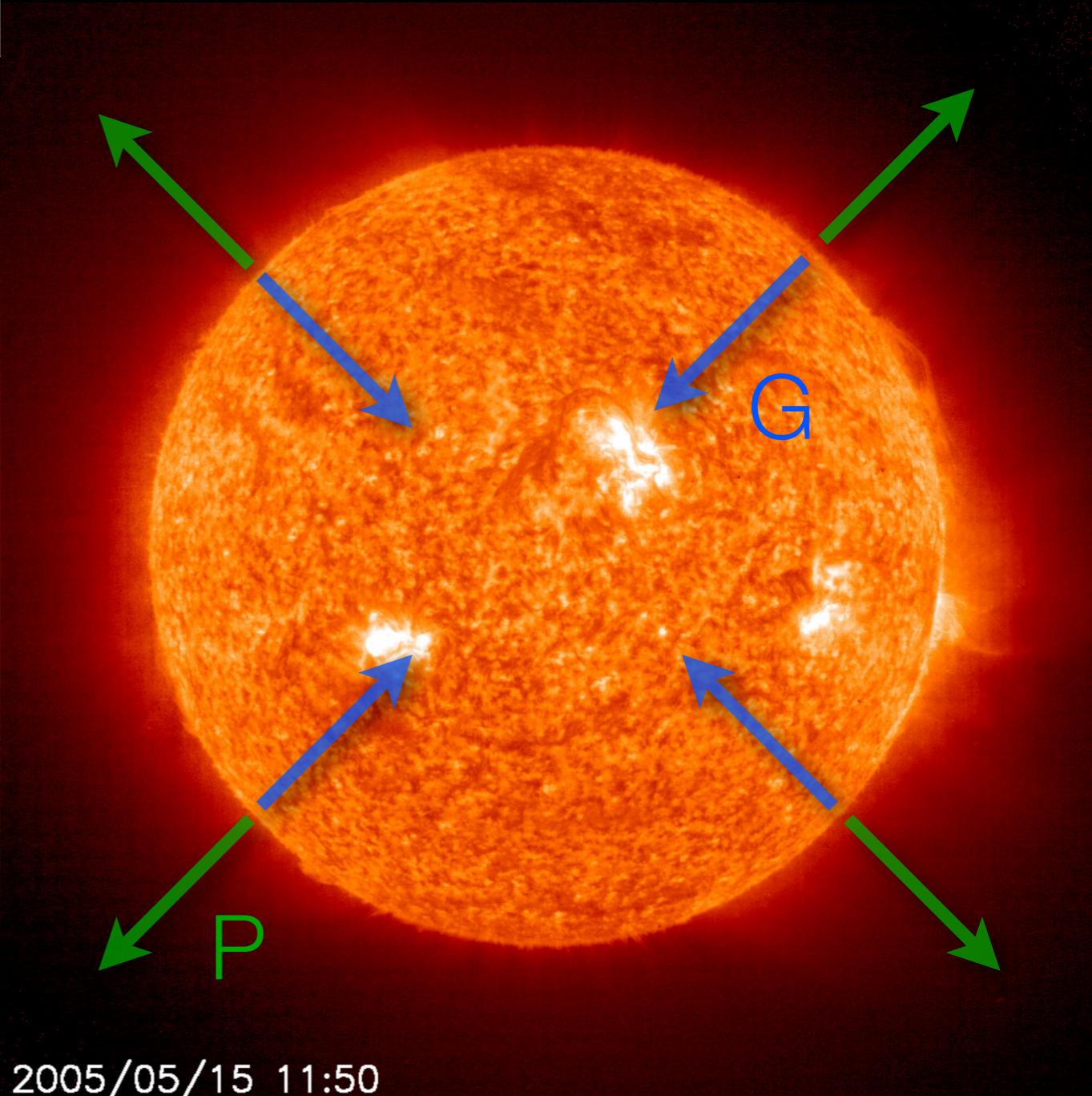
QU'EST-CE QU'UNE ÉTOILE ?

- Boule de plasma
- ***Combustions nucléaires***
- ***Eléments de base : H et He***
- Equilibre hydrostatique
- Lumière (IR, visible, UV,...)



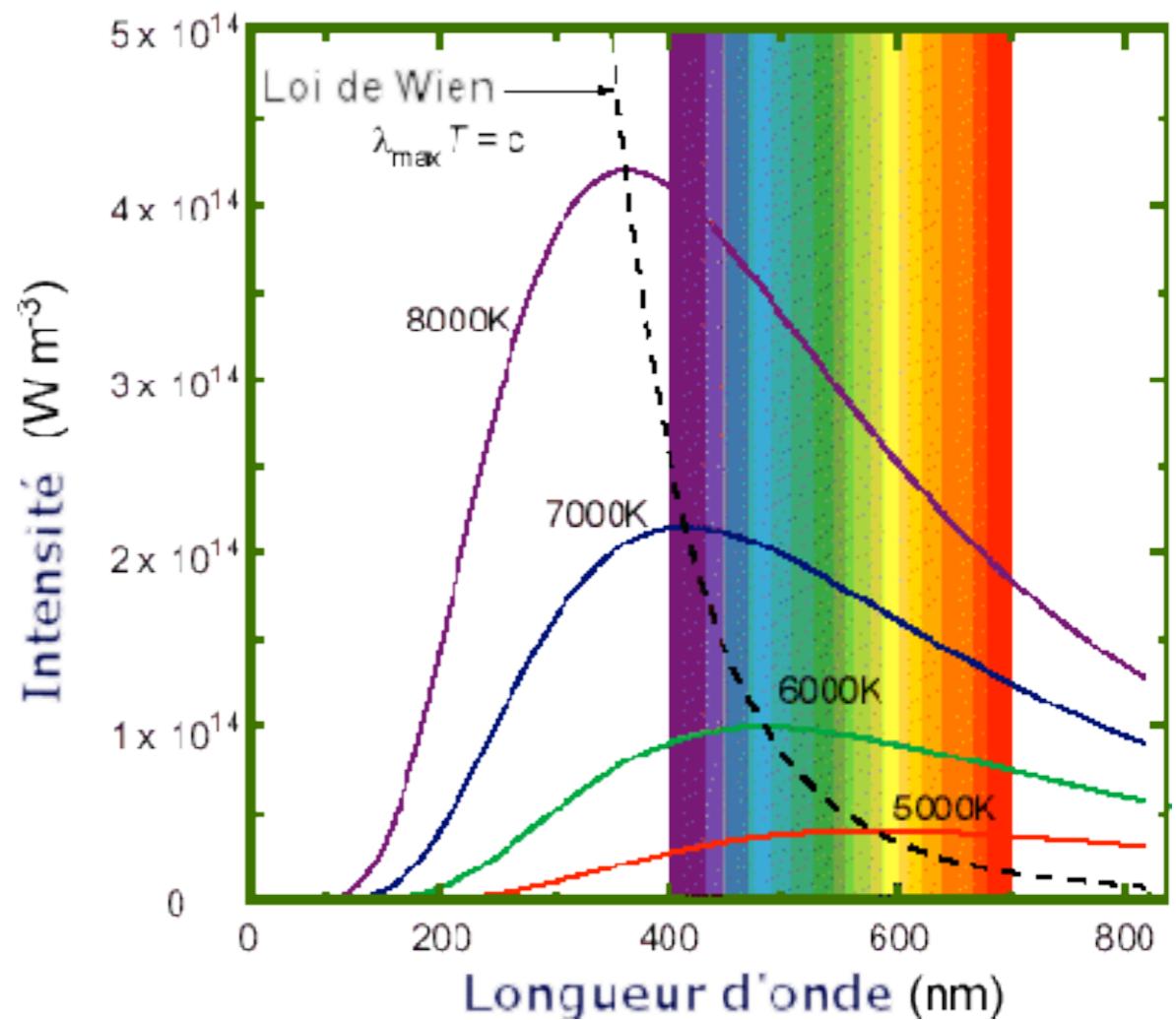
QU'EST-CE QU'UNE ÉTOILE ?

- Boule de plasma
- Combustions nucléaires
- Eléments de base : H et He
- *Equilibre hydrostatique*
- Lumière (IR, visible, UV,...)



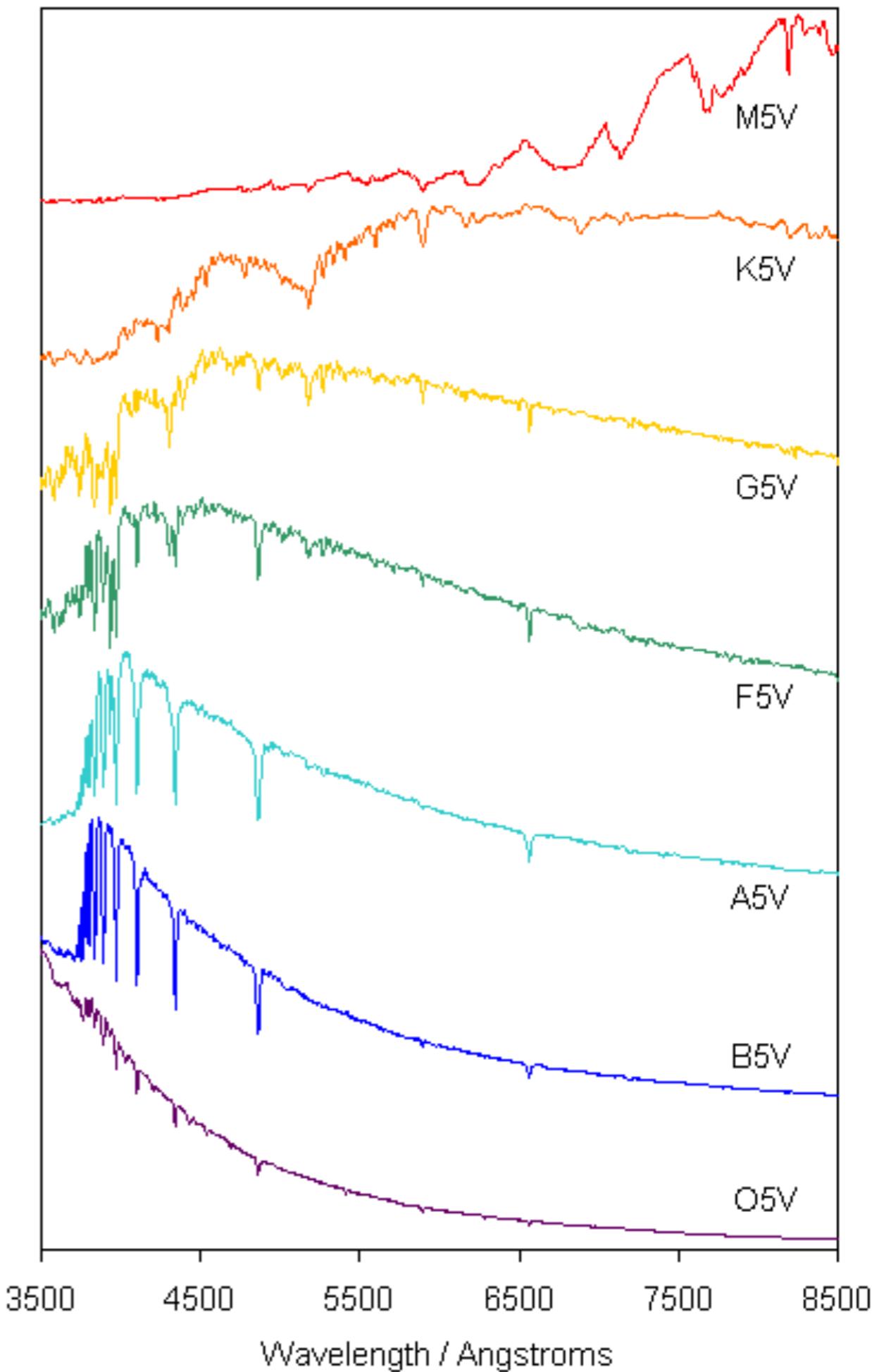
QU'EST-CE QU'UNE ÉTOILE ?

- Boule de plasma
- Combustions nucléaires
- Eléments de base : H et He
- Equilibre hydrostatique
- **Lumière (IR, visible, UV,...)**



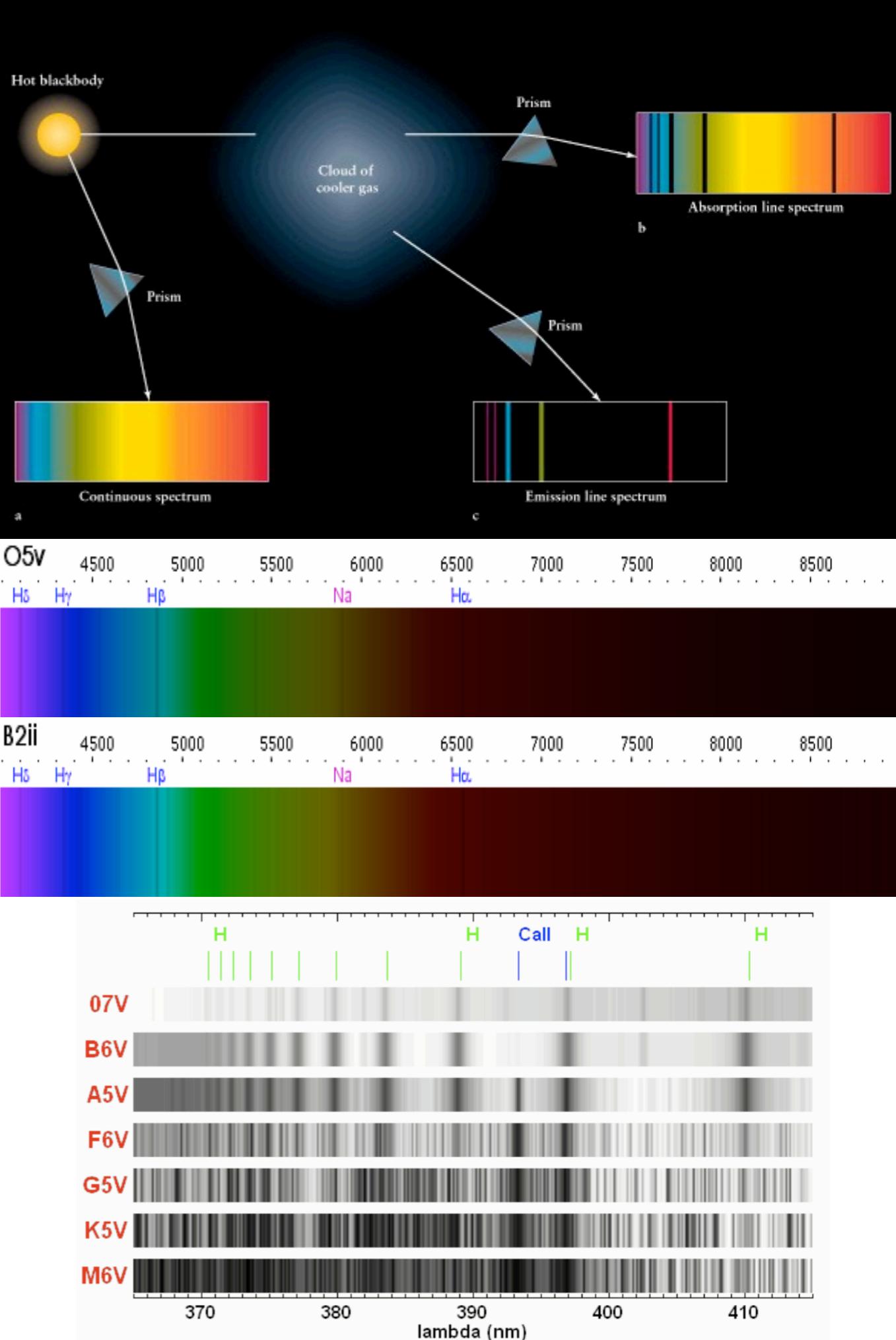
QU'EST-CE QU'UNE ÉTOILE ?

- Boule de plasma
- Combustions nucléaires
- Eléments de base : H et He
- Equilibre hydrostatique
- **Lumière (IR, visible, UV,...)**

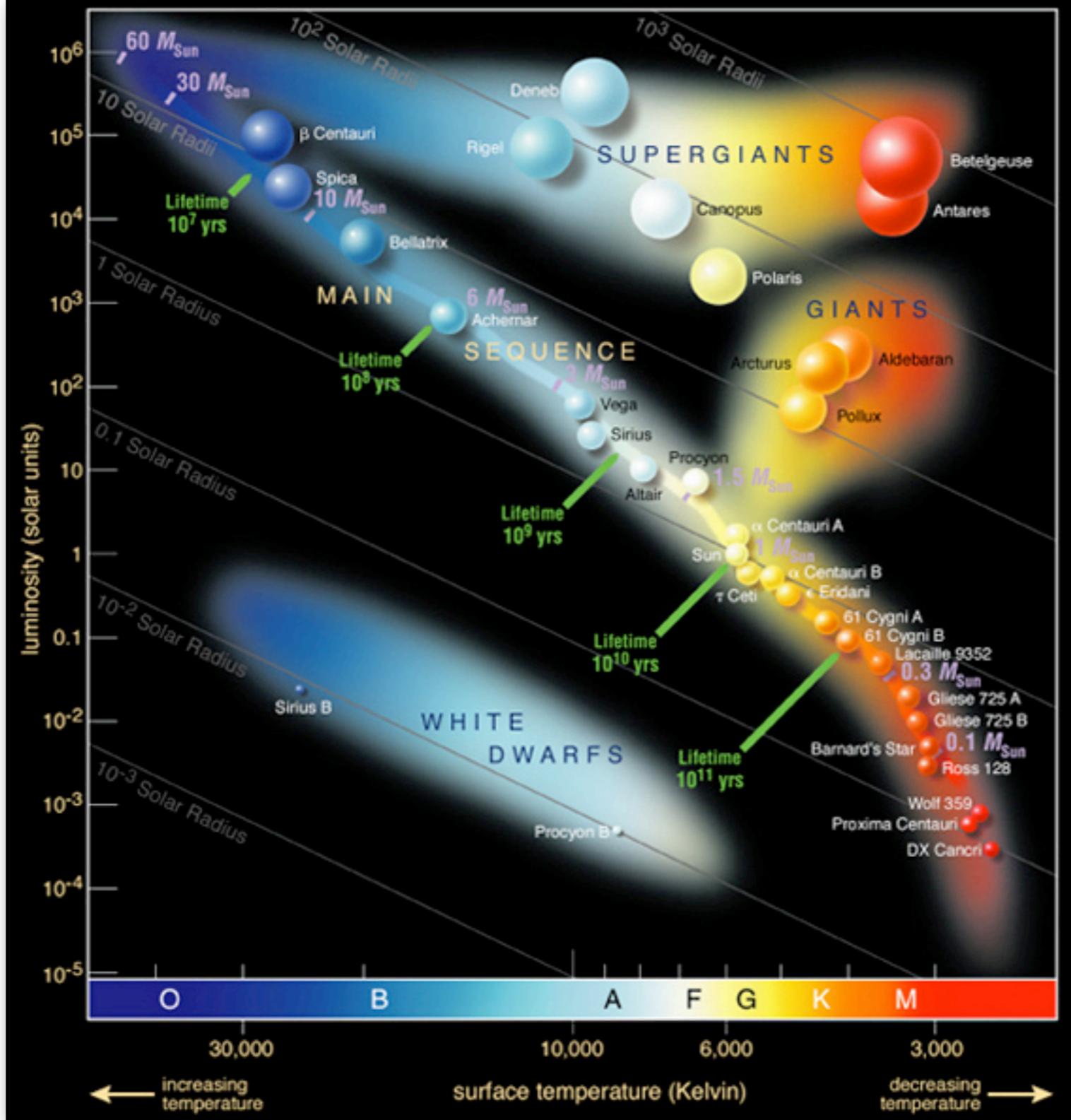


SPECTRES D'ÉTOILES

- Spectre continu
- Raies en émission
- Raies en absorption
- Spectre = «carte d'identité» de l'étoile
- Classement d'étoiles selon les types spectraux

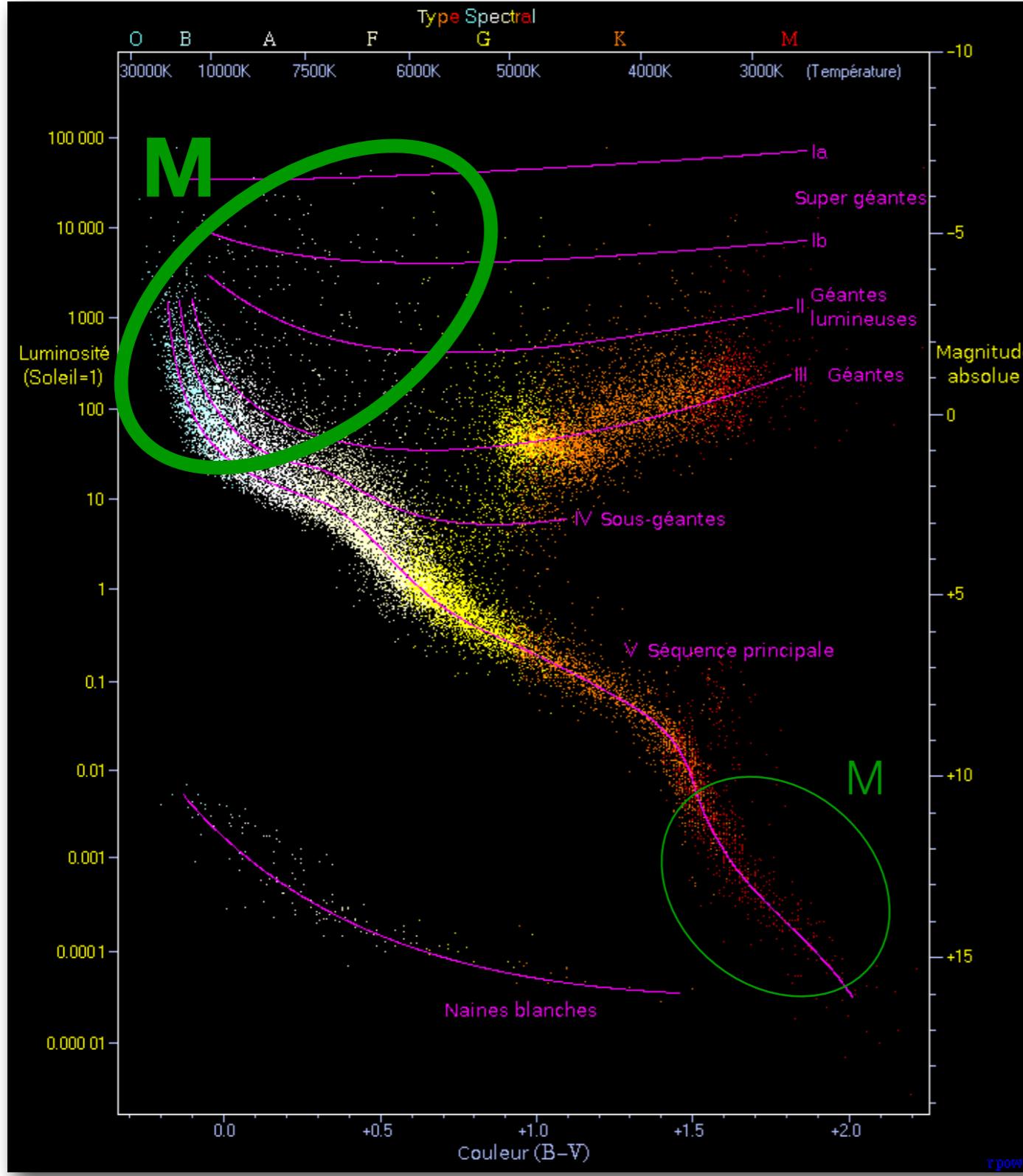


Oh,
Be
A
Fine
Girl / Guy,
Kiss
Me
!



LE DIAGRAMME
HERTZSPRUNG-RUSSEL

...ou Diagramme H-R



✓ Relation
masse-
luminosité

✓ Masse
≠
volume

LE DIAGRAMME HERTZSPRUNG-RUSSEL

...ou Diagramme H-R

ÉTOILES MASSIVES : PRÉSENTATION

Vous avez dit étoile massive ?

Quelques concepts

Quelques exemples

Formation et durée de vie

Morts et destinées

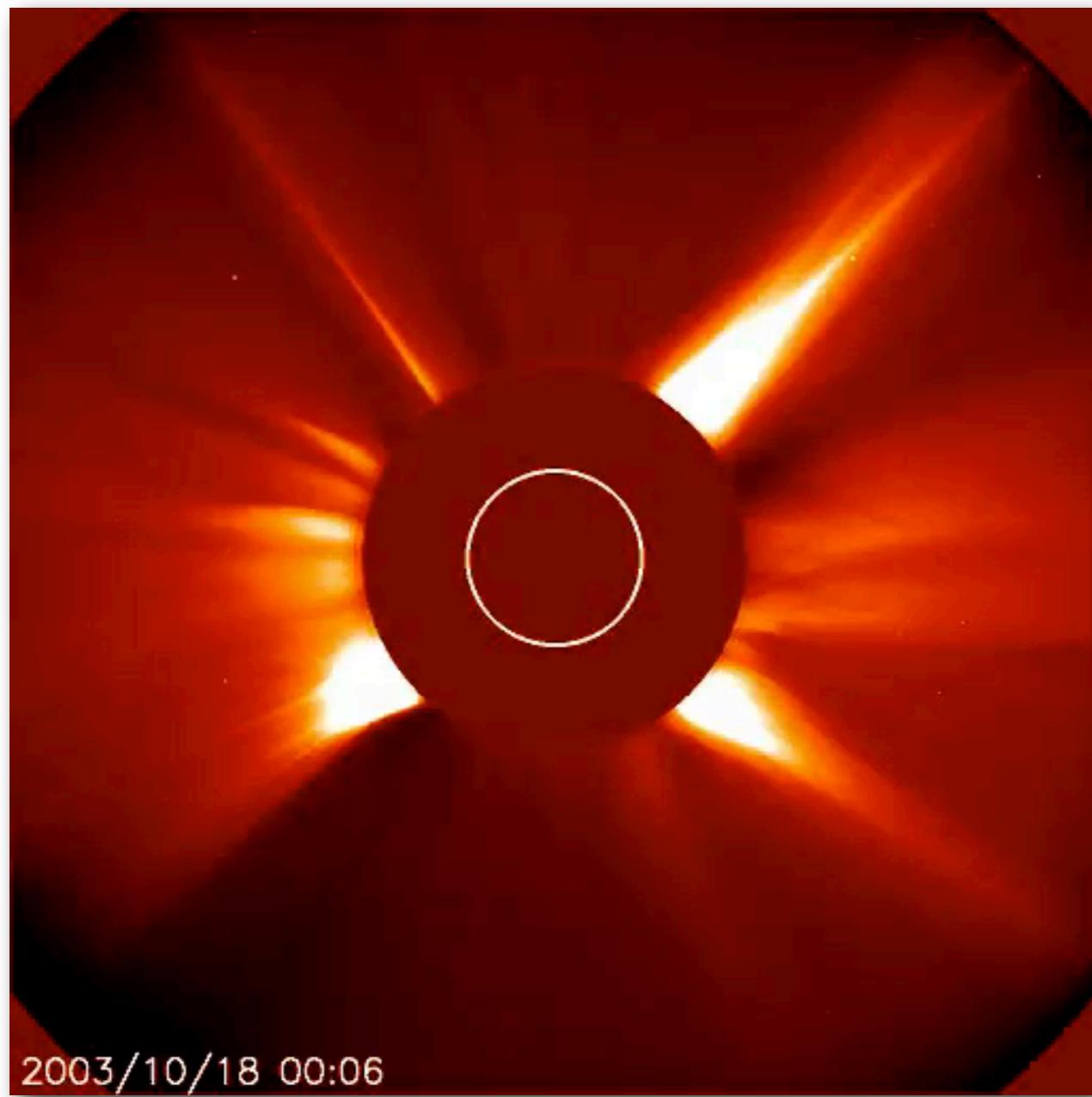
VOUS AVEZ DIT ÉTOILE MASSIVE ?

«Une étoile massive est une étoile qui ne pourra pas finir sa vie en naine blanche à cause de sa trop grande masse.»

- Etoile de plus de $8 M_{\odot}$
- En théorie : de $0,08 M_{\odot}$ à $150 M_{\odot}$

- Etoiles O et B
- Supergéantes et hypergéantes
- Etoiles Wolf-Rayet
- LBV

QUELQUES CONCEPTS

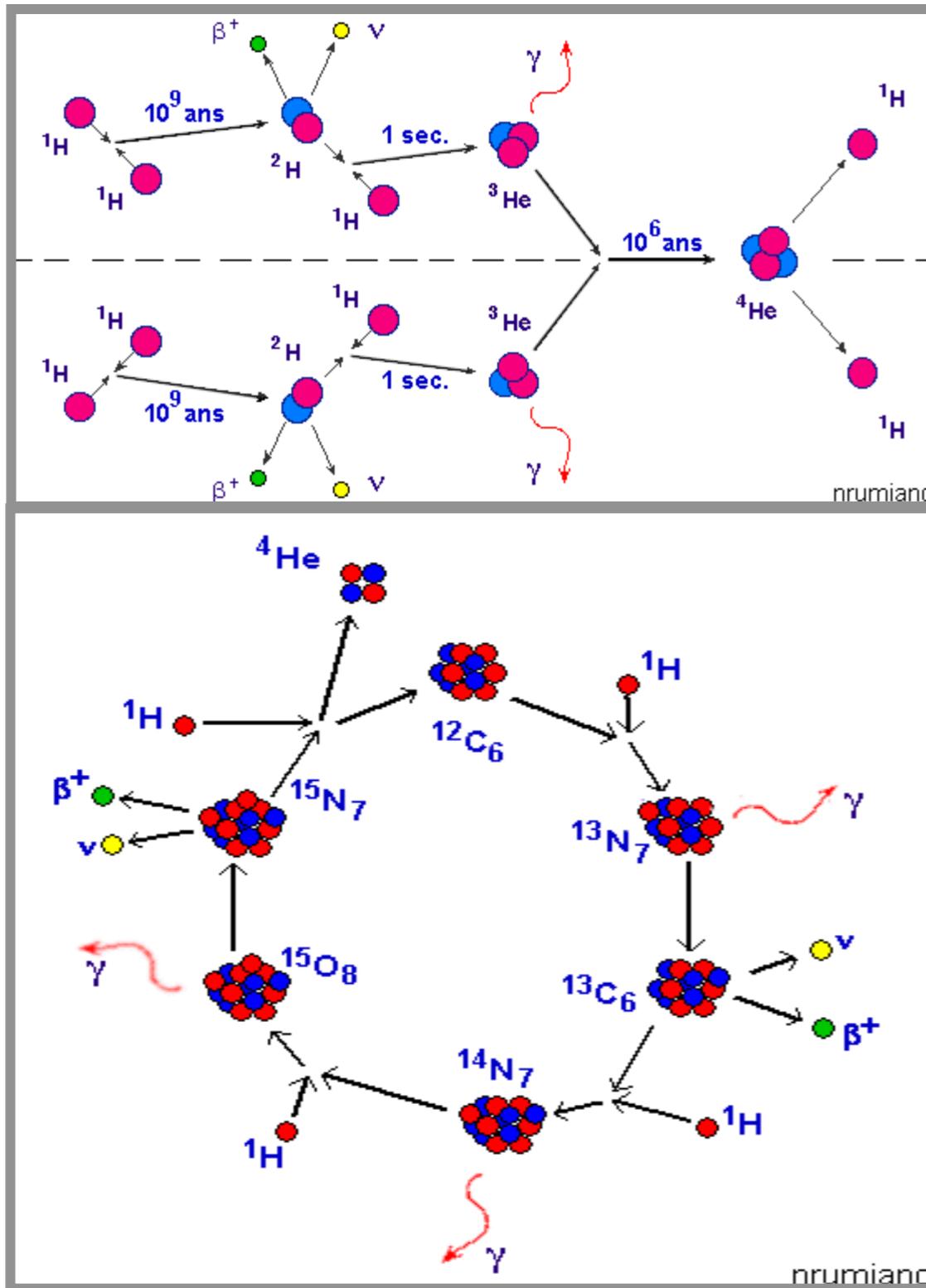


2003/10/18 00:06

VENT STELLAIRE

- Particules (neutres ou chargées) éjectées
- Très chaud
- Poussé par la pression de radiation
- Pertes de masse !
- Ex : vent solaire (poussé par champ magnétique)

QUELQUES CONCEPTS



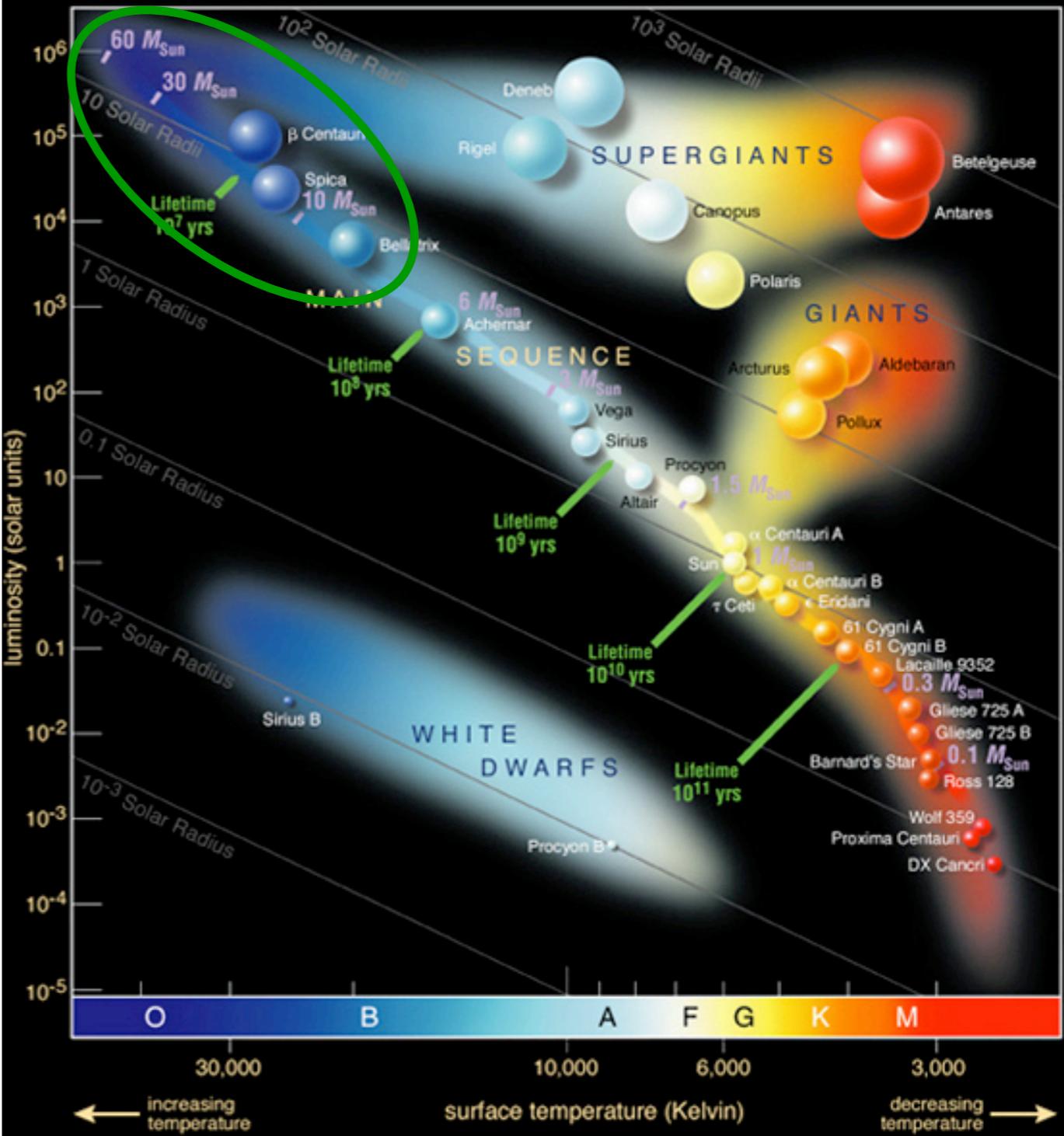
CYCLE CNO

- Comment transformer H en He ?
- Soleil : chaîne proton-proton
- Etoiles massives : cycle CNO
- Carbone, azote, oxygène,...

CATÉGORIES

LES ÉTOILES O ET B

- Séquence principale
→ «tranquilles»
- Chaudes
- De 2 à 20 R_{\odot}
- Vent stellaire très fort



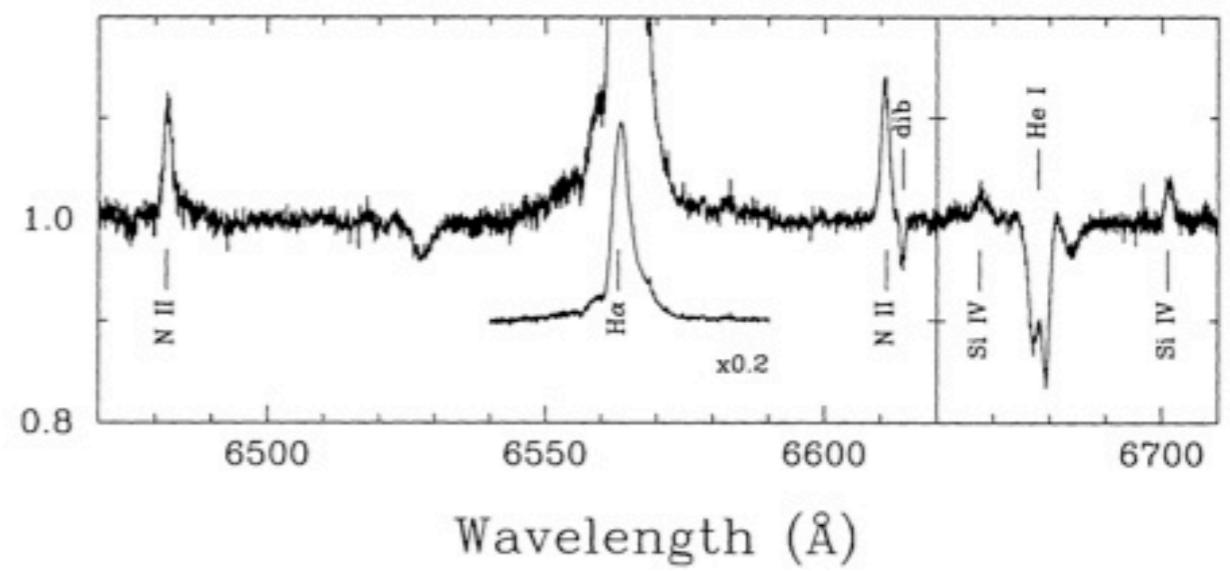
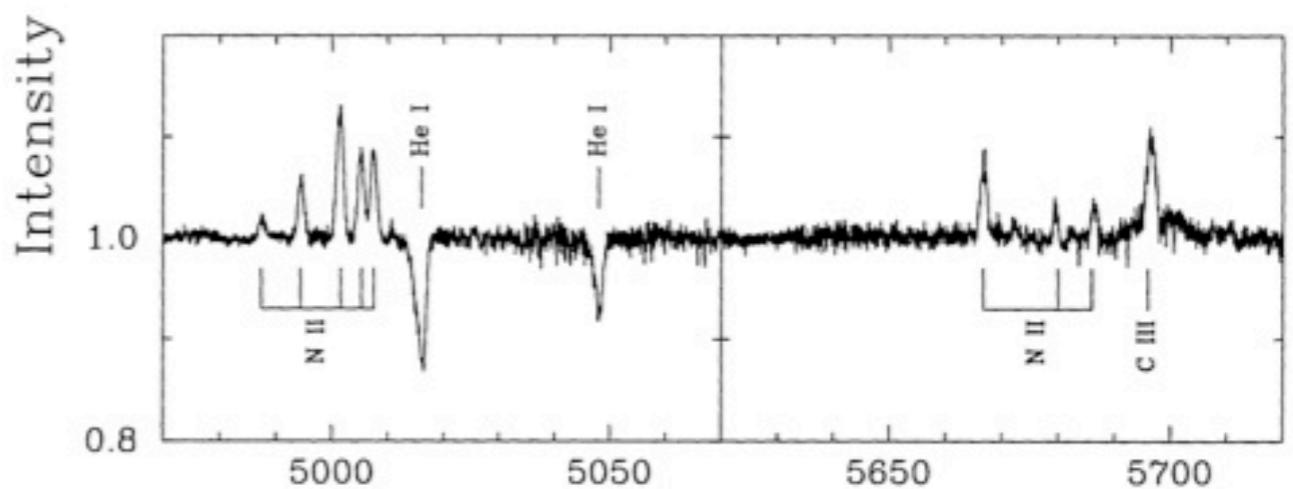
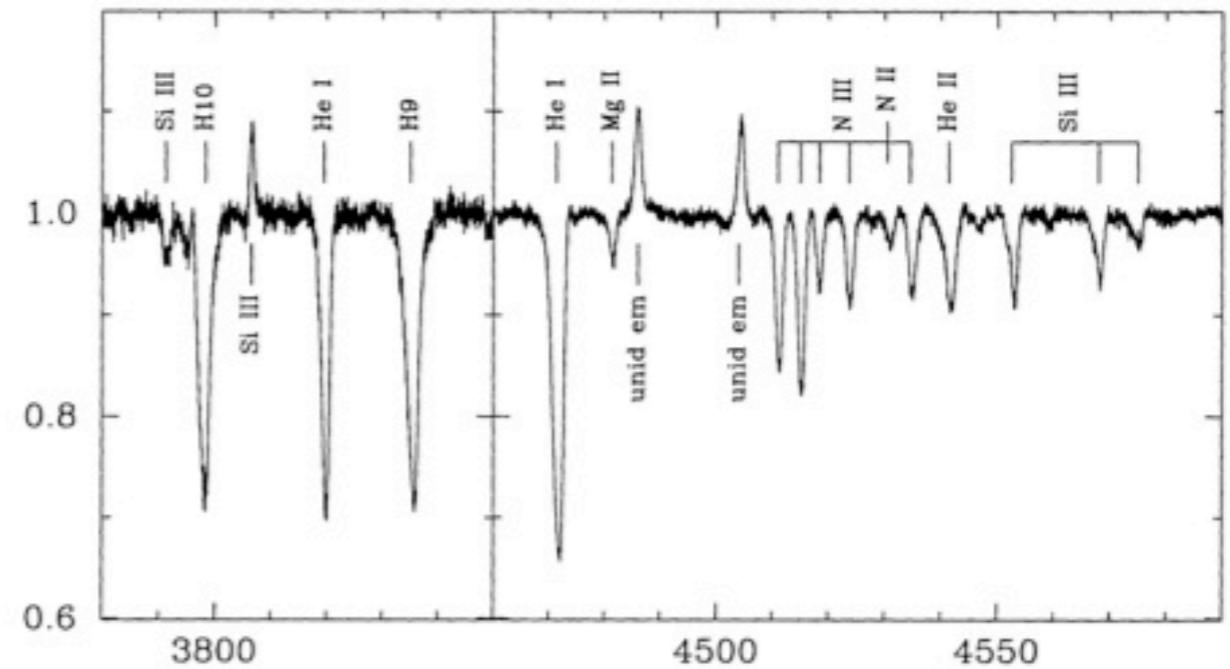
CATÉGORIES

LES ÉTOILES O ET B

- Raies en absorption
- Quelques raies en émission

Les étoiles Oe et Be

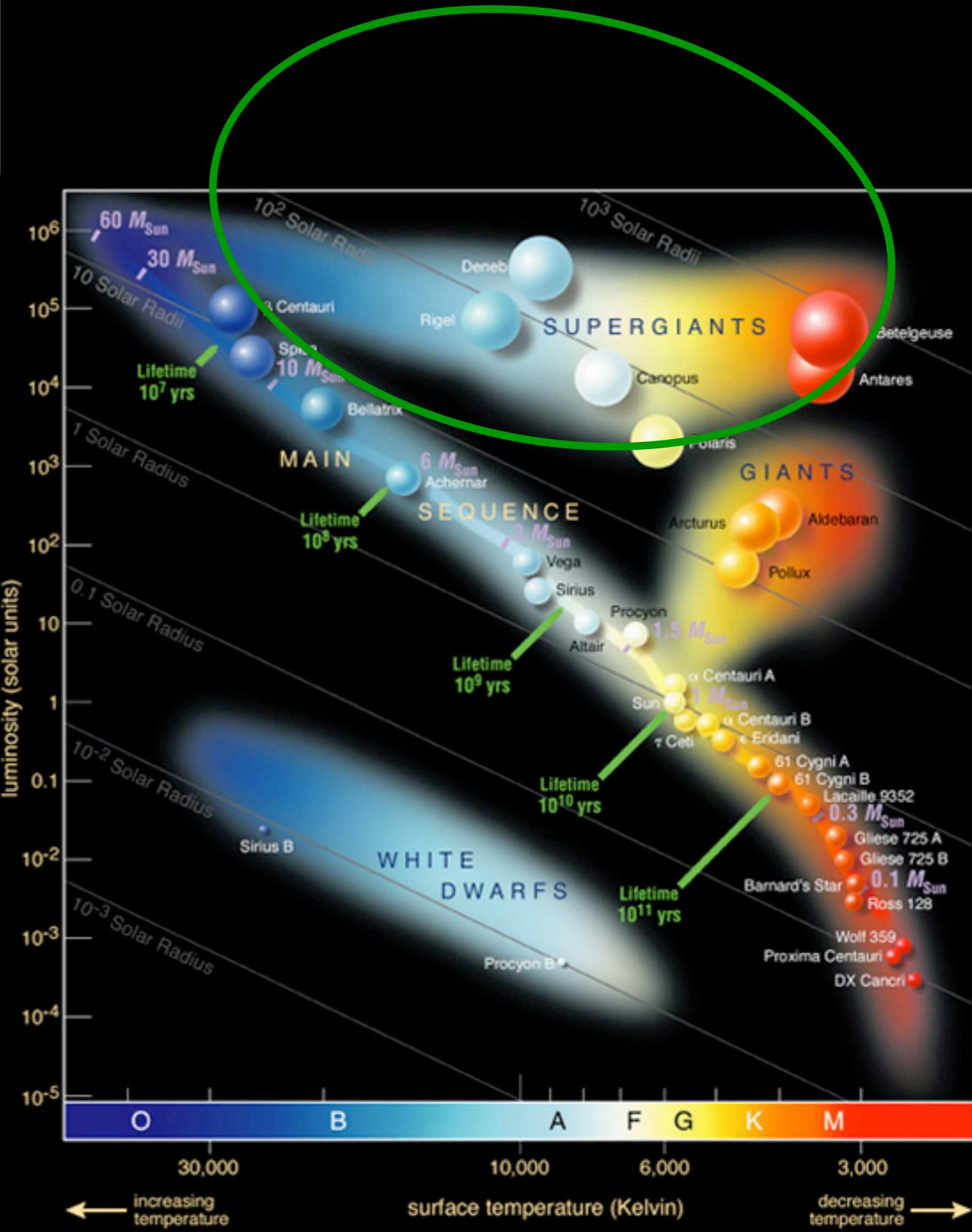
- Rotation très rapide
- Vent sous forme de disque ?



CATÉGORIES

LES SUPERGÉANTES / HYPERGÉANTES

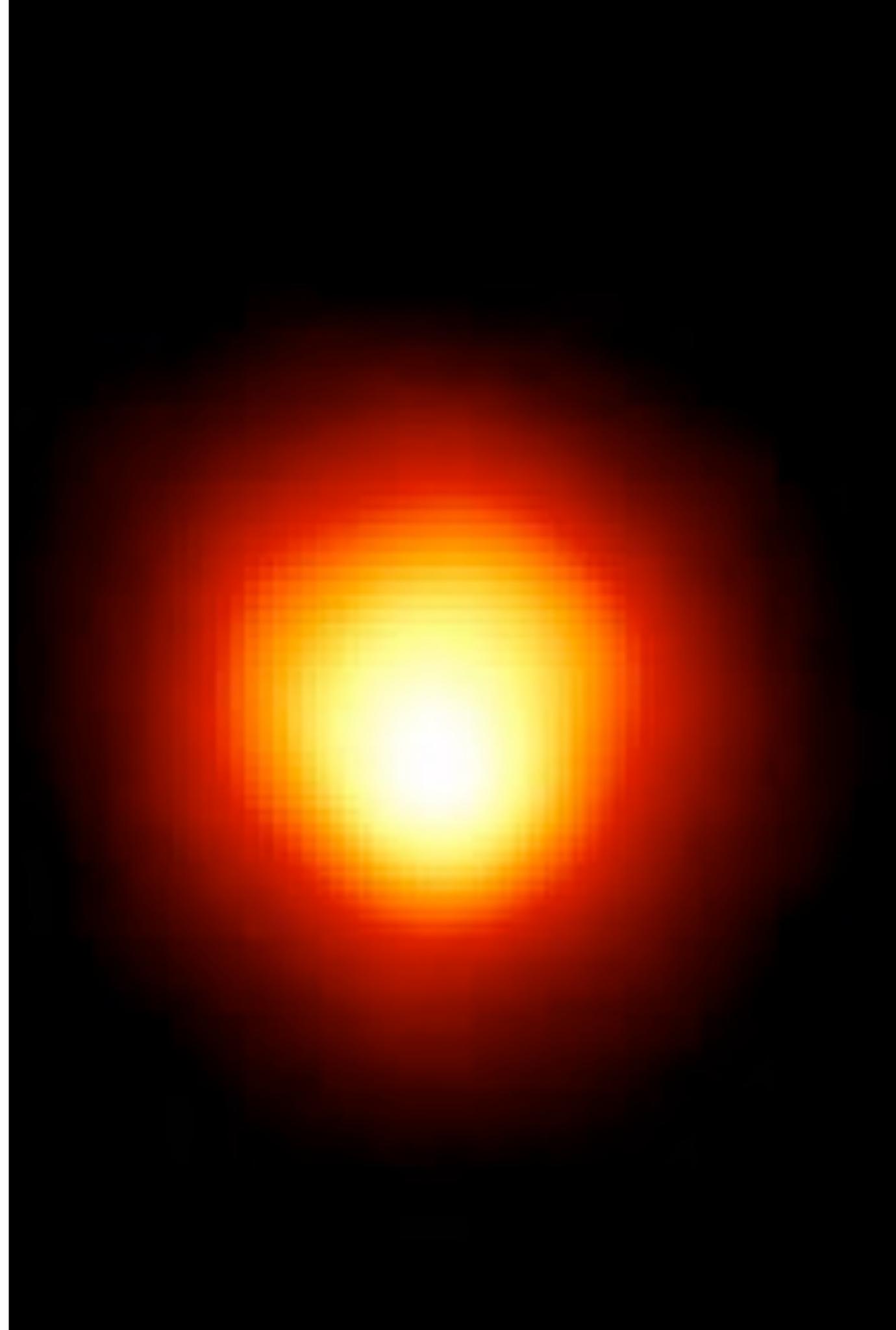
- Etoiles les plus lumineuses
- Peuvent être gigantesques !
- Concernent tous les types spectraux (dont O et B)
- Evolution ultime des étoiles (cf : J-P et Oli)



CATÉGORIES

LES SUPERGÉANTES / HYPERGÉANTES

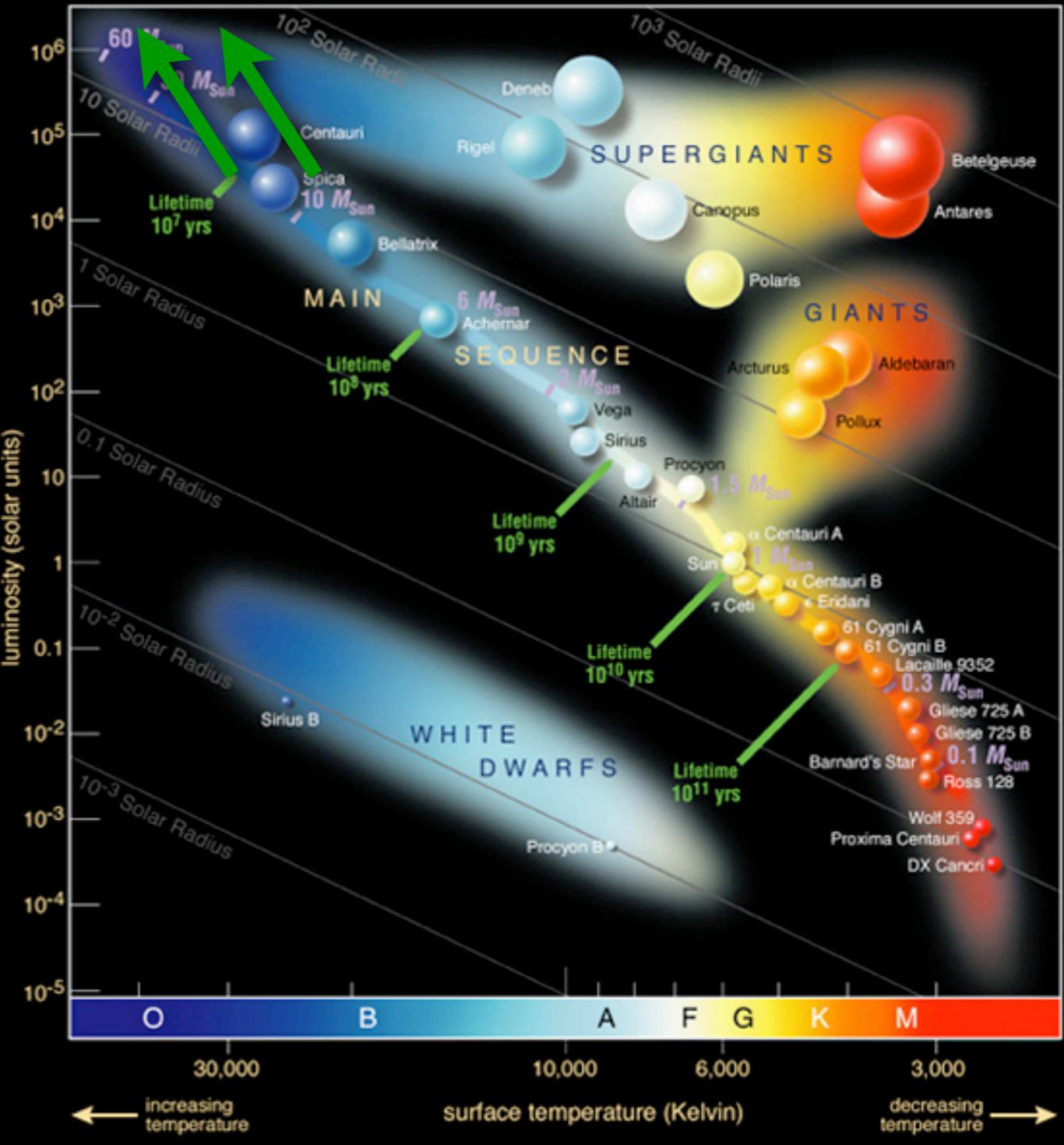
- Etoiles les plus lumineuses
- Peuvent être gigantesques !
- Concernent tous les types spectraux (dont O et B)
- Evolution ultime des étoiles (cf : J-P et Oli)



CATÉGORIES

LES ÉTOILES WOLF-RAYET

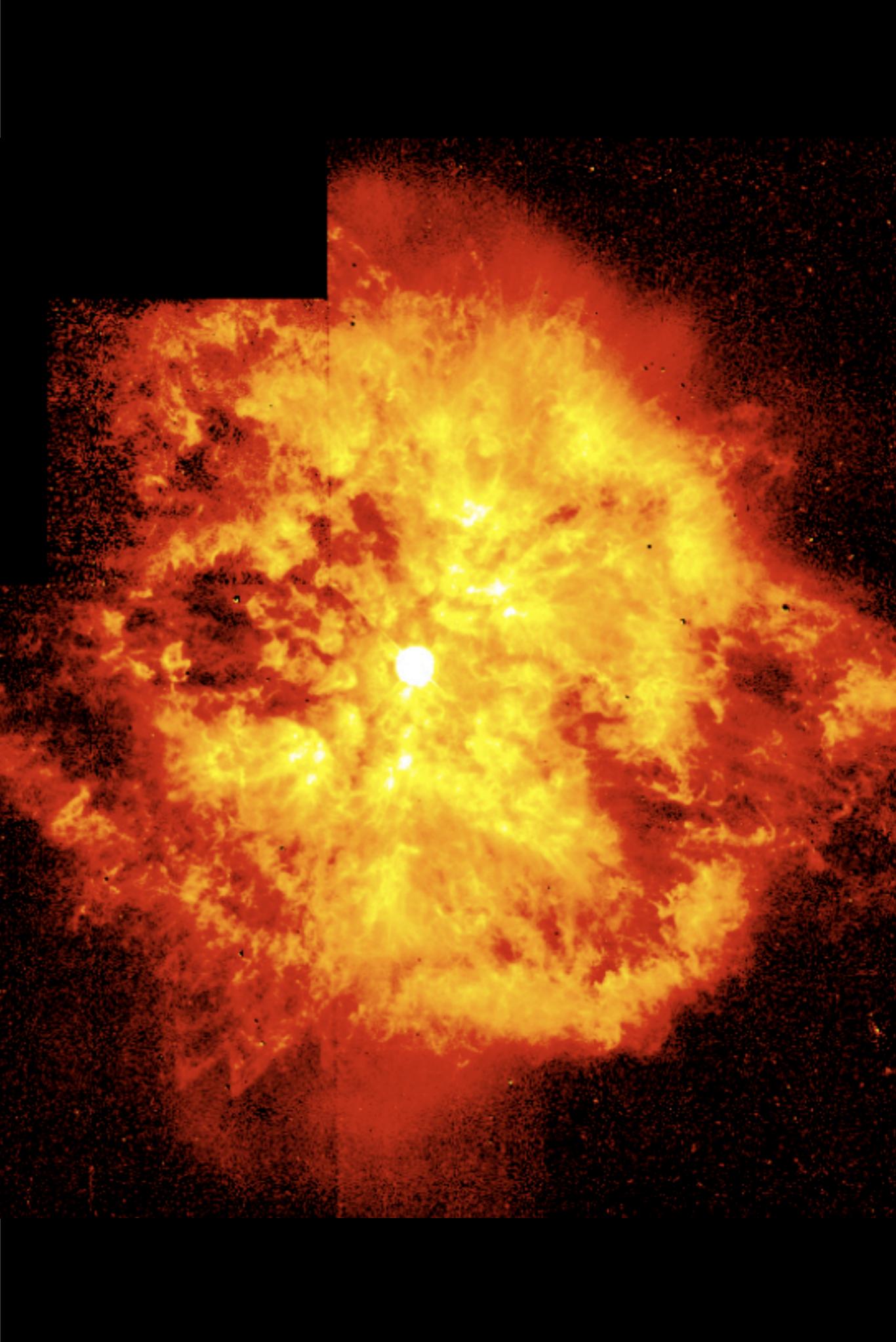
- Très évoluées, ~~H~~ \Rightarrow He, C, N, O
- Perte de masse énorme !
- Vent stellaire plus fort que dans les étoiles O et B
- Contiennent les étoiles les plus massives
- Evolution des supergéantes O et B ?



CATÉGORIES

LES ÉTOILES WOLF-RAYET

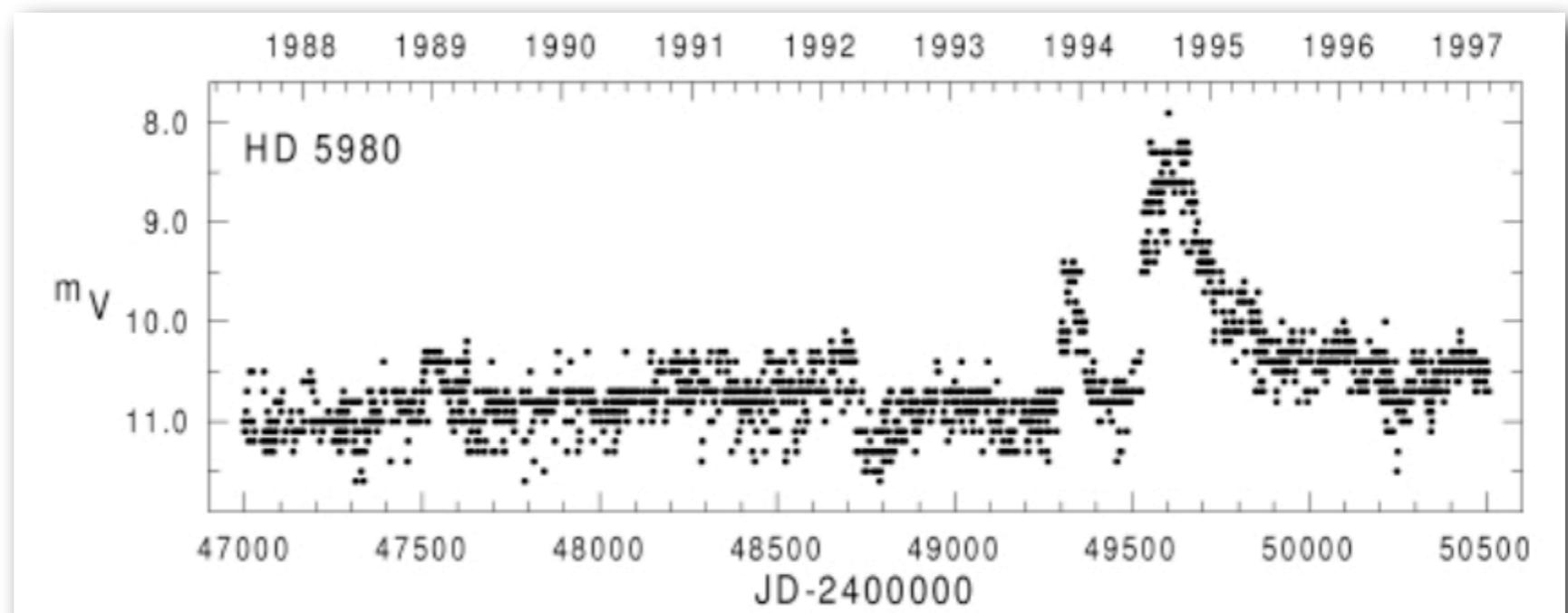
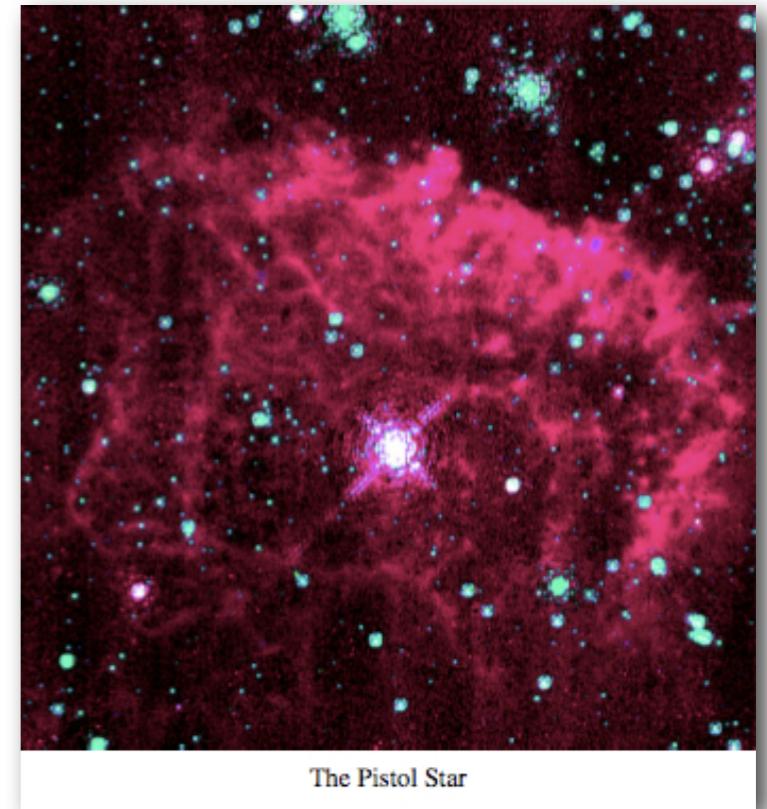
- Très évoluées, ~~H~~ \Rightarrow He, C, N, O
- Perte de masse énorme !
- Vent stellaire plus fort que dans les étoiles O et B
- Contiennent les étoiles les plus massives
- Evolution des supergéantes O et B ?



CATÉGORIES

LES LBV (LUMINOUS BLUE VARIABLE)

- Objets très bizarres...
- ...et très variables !
- Plusieurs types d'éruption (normales & géantes)
- Très rares (~20)

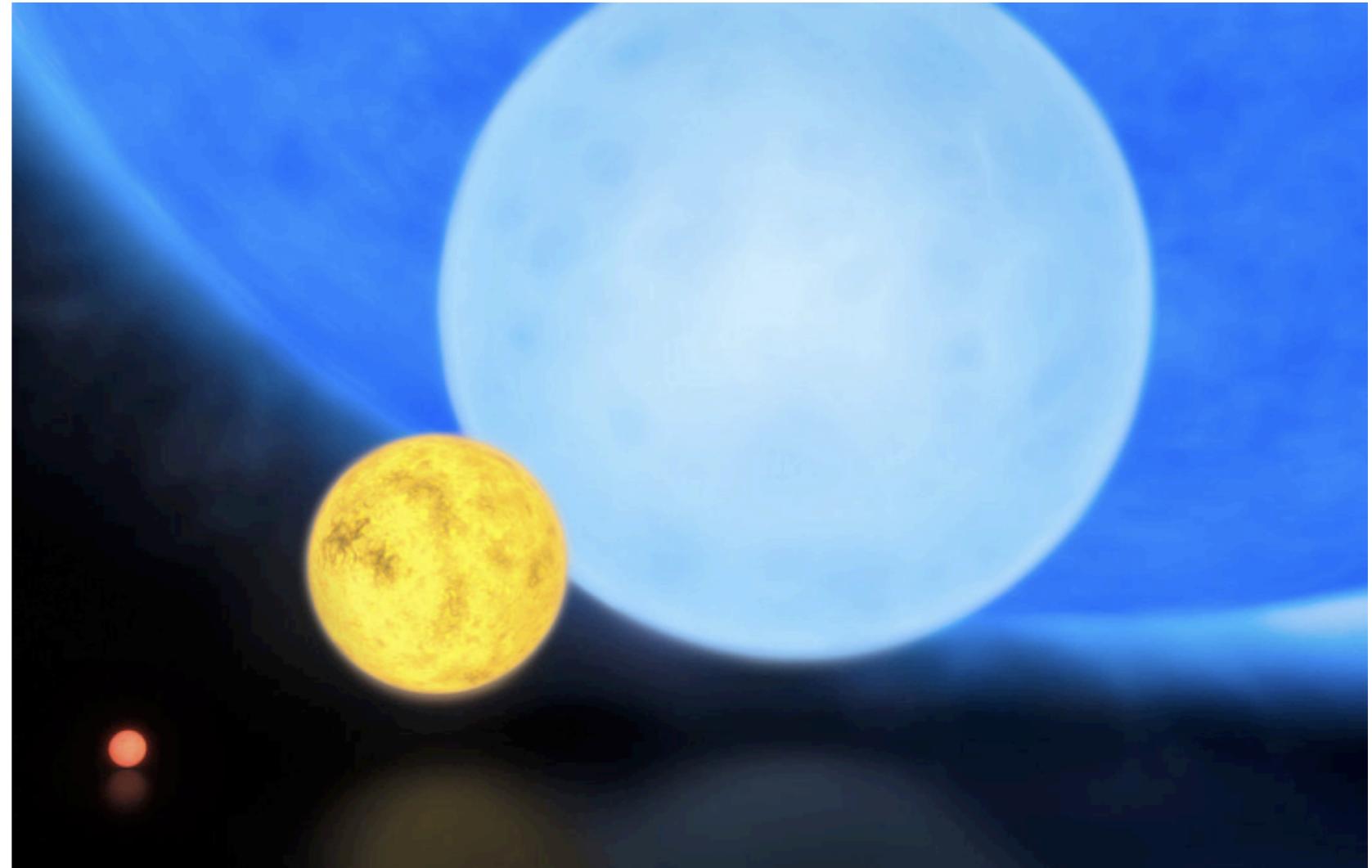


QUELQUES EXEMPLES

LE TOP 14

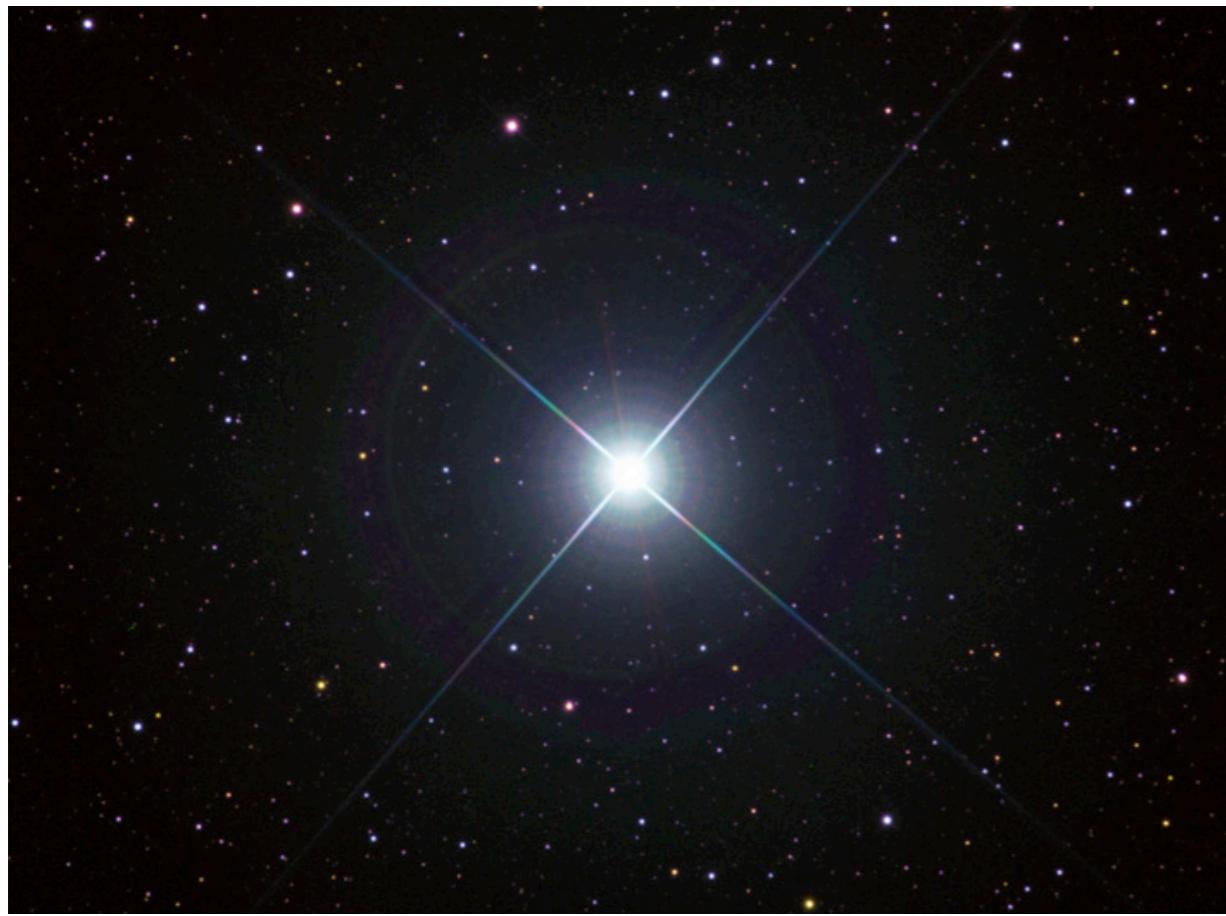
Nom de l'étoile	Masse estimée (en masses solaires)	Remarques
R136a1	265-320	Hypergéante bleue
WR 101e	150-160	Etoile Wolf-Rayet
HD 269810	150	Etoile de type B
WR 102ka	150	Etoile Wolf-Rayet
LBV 1806-20	130-200	Etoile variable (système binaire ?)
HD 93129 A + B	A=120-127 ; B=80	Système binaire, toutes deux de type O
HD 93250	118	Etoile de type O
NGC 3603-A1	A=116 ; B=89	Système binaire
Pismis 24-1 A + B	A=100-120 ; B=100	Système de 2, voire 3 étoiles, de type O
Arches cluster	100-130	Amas d'étoiles massives
Pismis 24-17 [5]	100	
Hineliun	100	
S Doradus	100	Hypergéante de type A
Eta Carinae	90-100	Système d'au moins 2 étoiles dont une WR

TABLE 1 – Liste des étoiles les plus massives

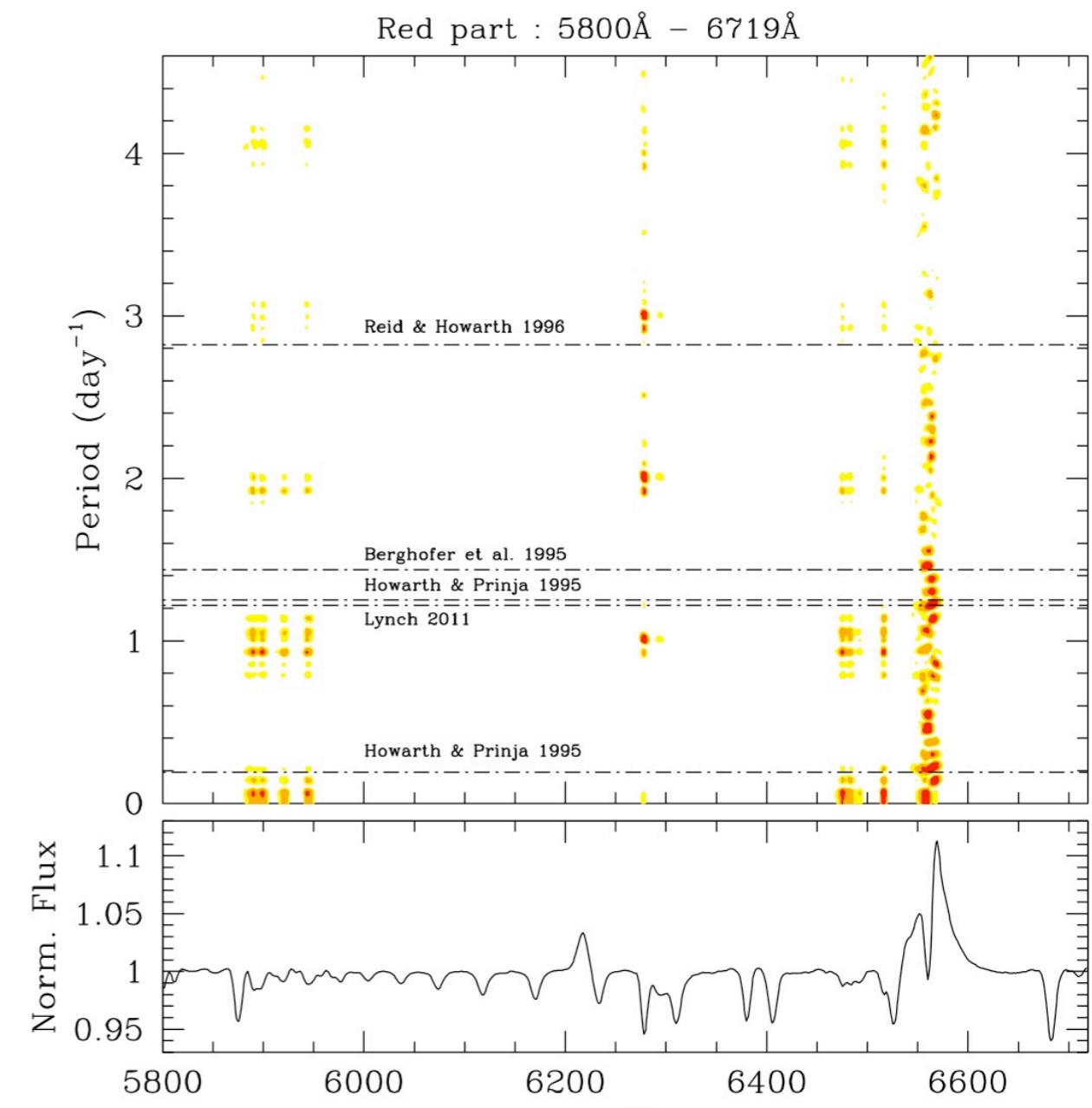


QUELQUES EXEMPLES

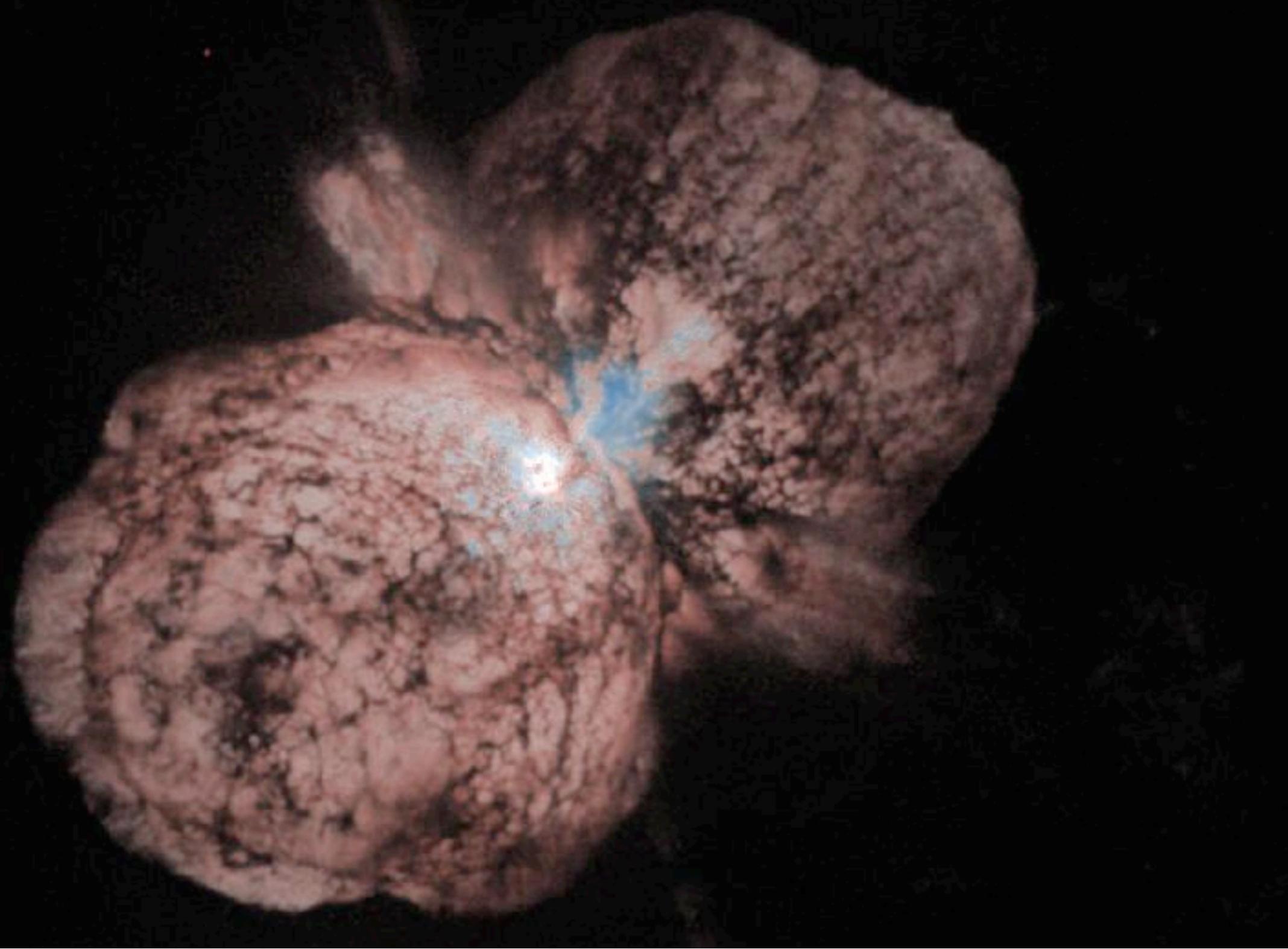
R136a1
($265\text{-}320 M_{\odot}$)



QUELQUES EXEMPLES



ζ Puppis
($22,5 M_{\odot}$)



QUELQUES EXEMPLES

η Carinae
(90-150 M_{\odot})



QUELQUES EXEMPLES

M17 (NGC 6618)
(35 étoiles pour $800 M_{\odot}$)

FORMATION ET DURÉE DE VIE

- Zones densément peuplées
- Vivent TRÈS peu de temps !!!
 - ~ 10 millions d'années
 - Objets «jeunes»
- Ondes de densité (bras galactiques)





FORMATION ET DURÉE DE VIE

Galaxies des Antennes

MORTS ET DESTINÉES

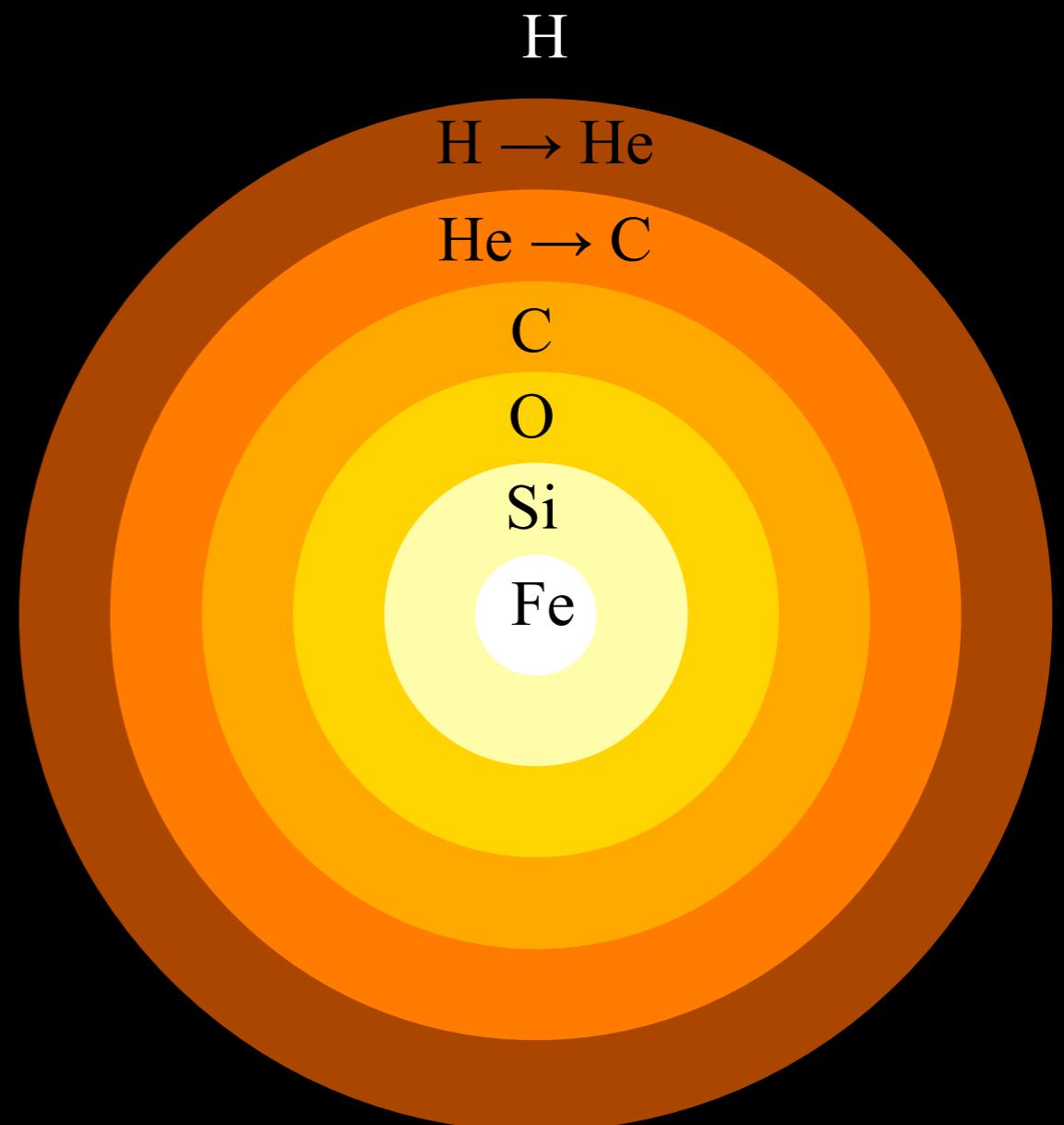
- Par définition, trop massives pour finir en naines blanches
- O ou B séquence principale
- supégéante / hypergéante

→ WR ?

→ SUPERNOVA

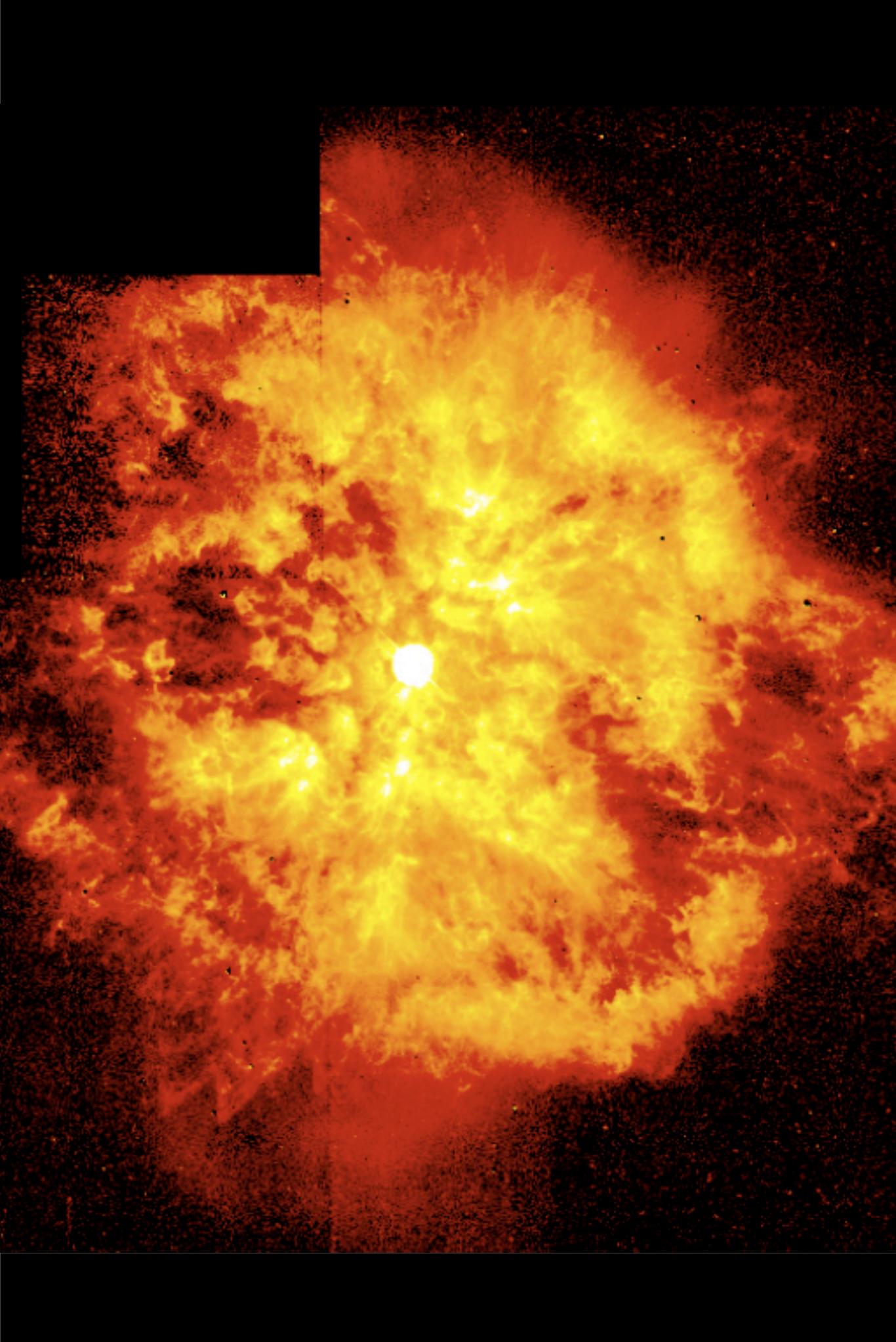
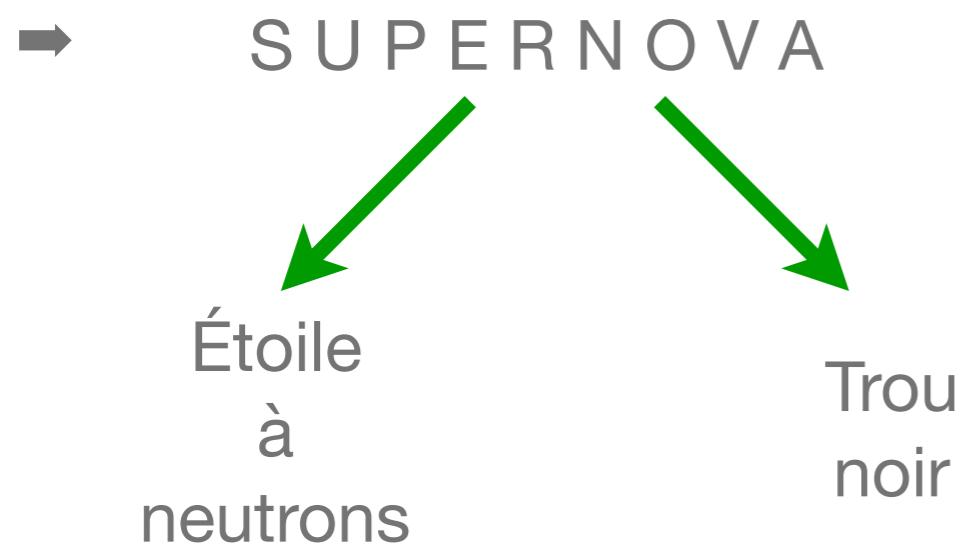
Étoile
à
neutrons

Trou
noir



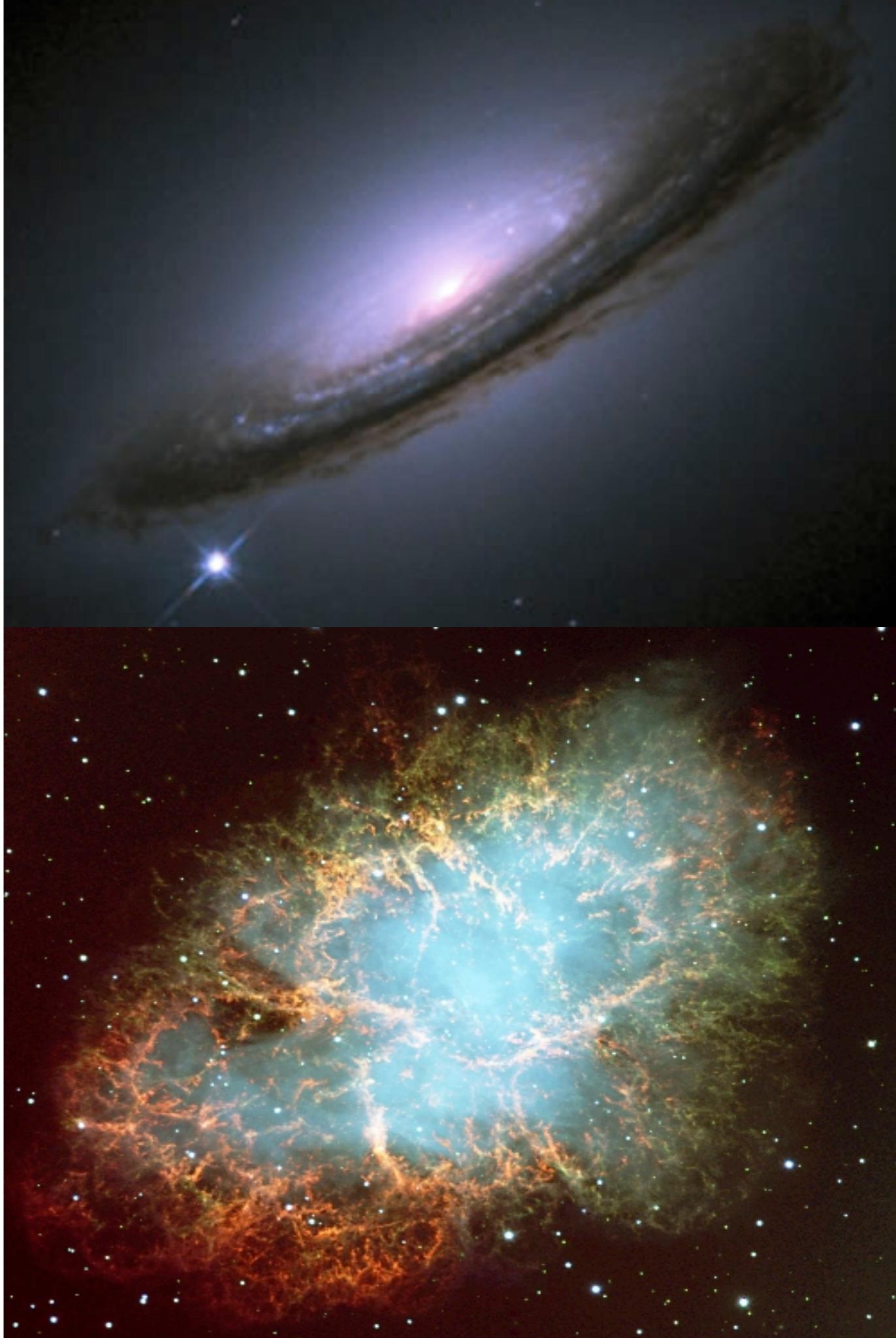
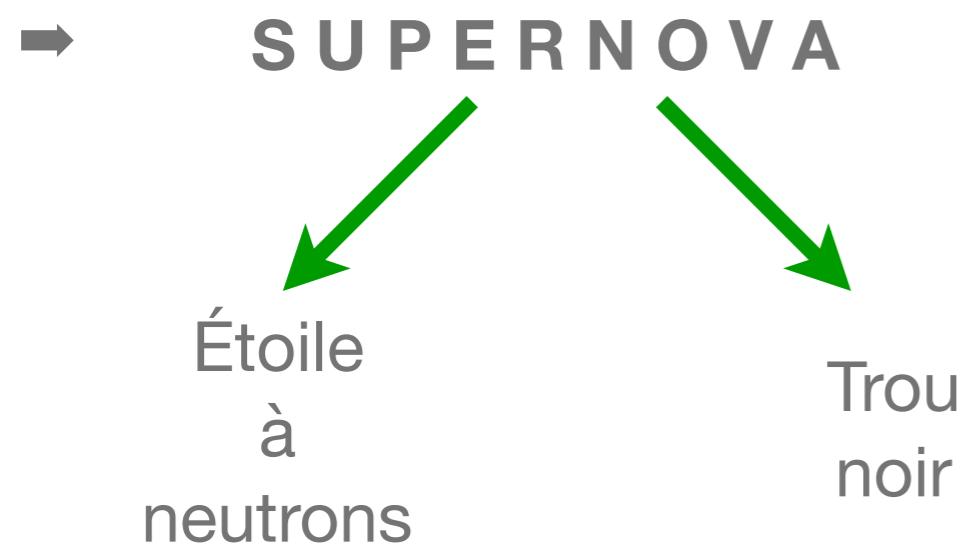
MORTS ET DESTINÉES

- Par définition, trop massives pour finir en naines blanches
- O ou B séquence principale
- supergéante / hypergéante
- WR ?



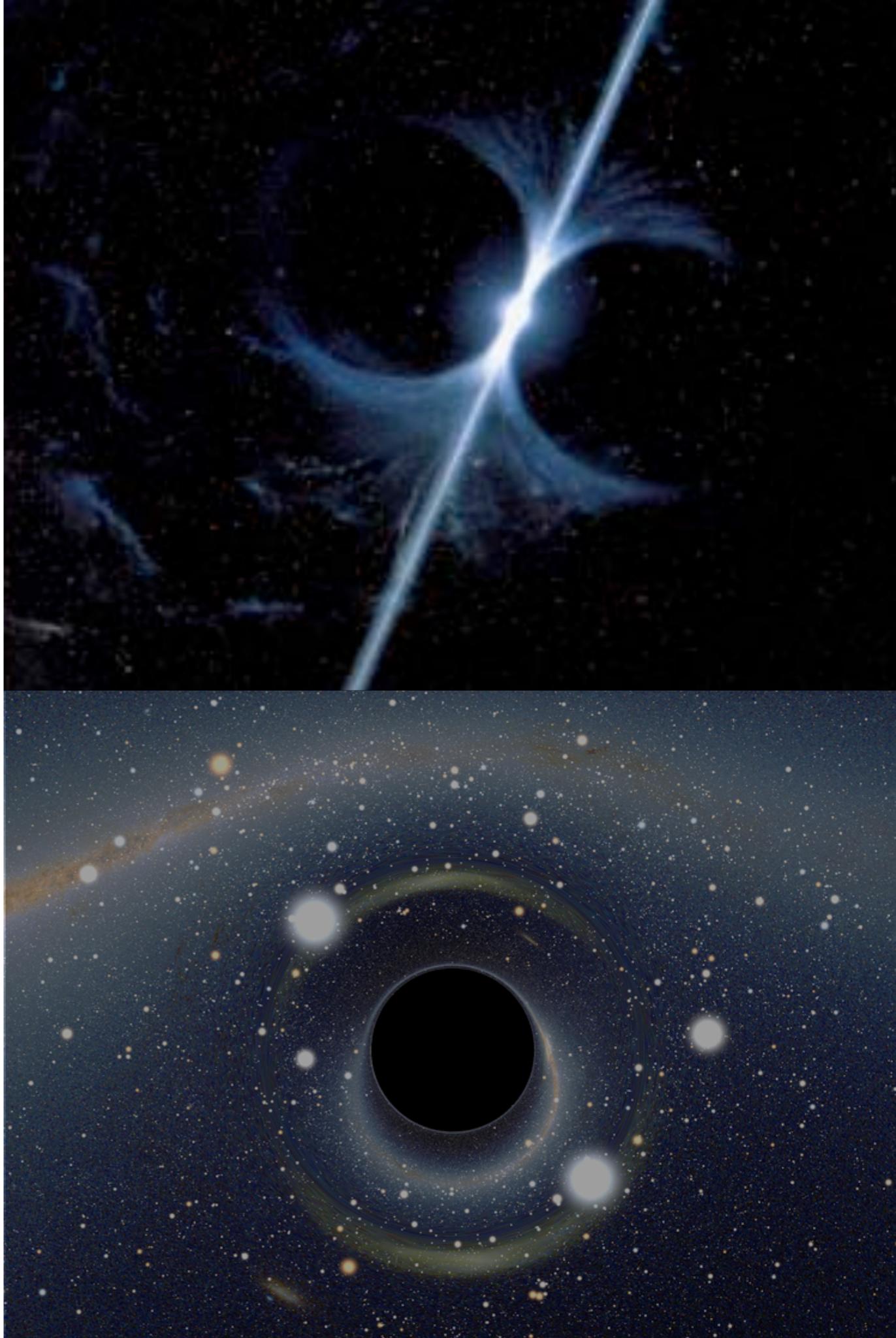
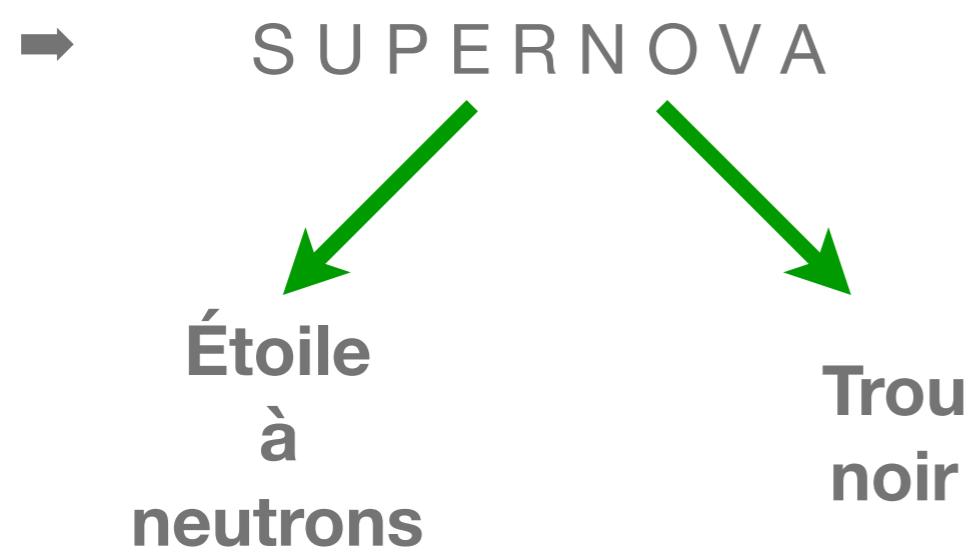
MORTS ET DESTINÉES

- Par définition, trop massives pour finir en naines blanches
- O ou B séquence principale
- supergéante / hypergéante
- WR ?



MORTS ET DESTINÉES

- Par définition, trop massives pour finir en naines blanches
 - O ou B séquence principale
- supergéante / hypergéante
- WR ?



ÉTOILES MASSIVES ET LEURS ENVIRONNEMENTS

Interactions avec le milieu interstellaire

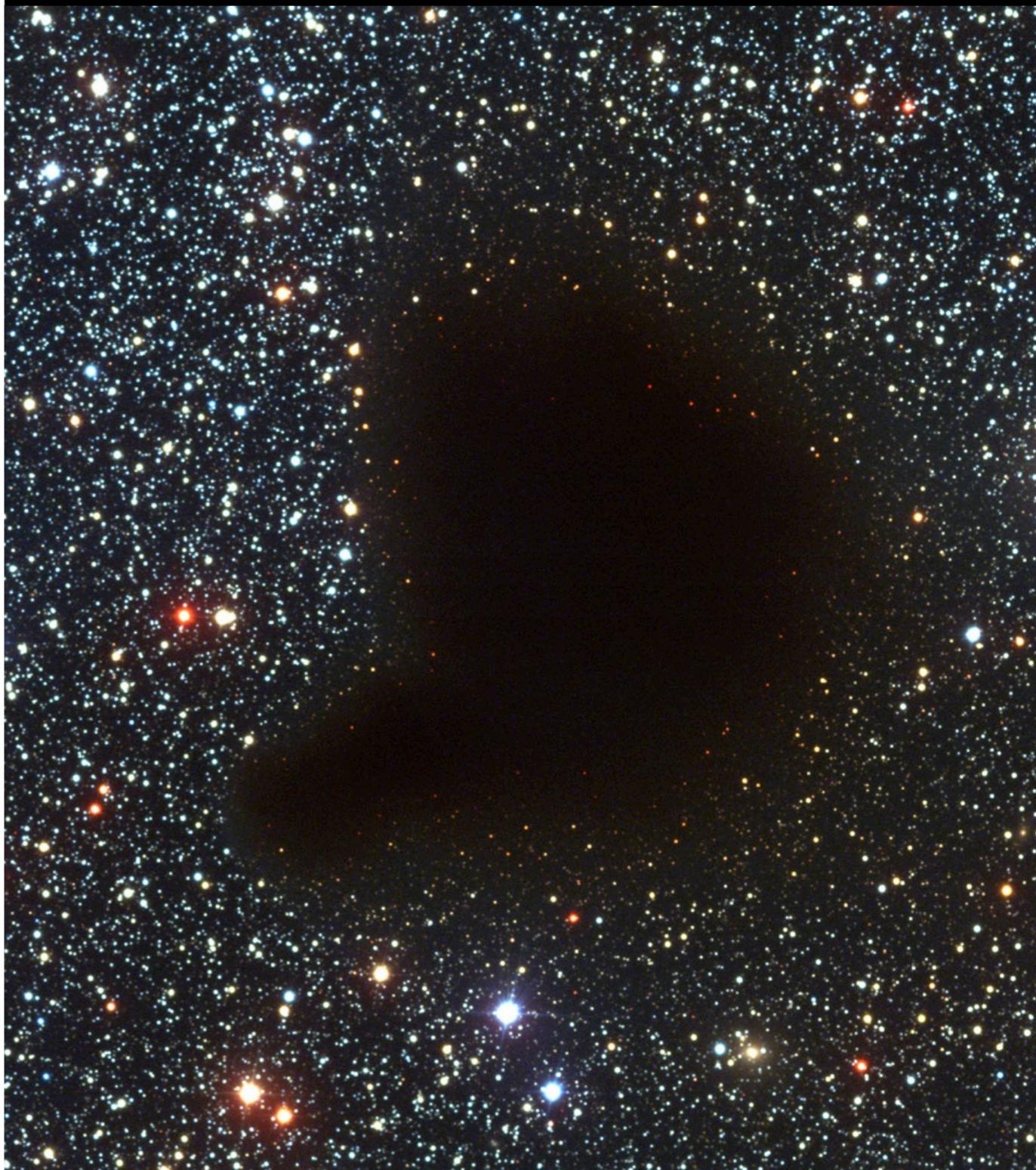
- a) Supernovae
- b) Vents stellaires
- c) Ionisation

Binarités et associations OB

INTERACTIONS AVEC LE MILIEU INTERSTELLAIRE

***LE MILIEU
INTERSTELLAIRE ?
KEZAKO ?***

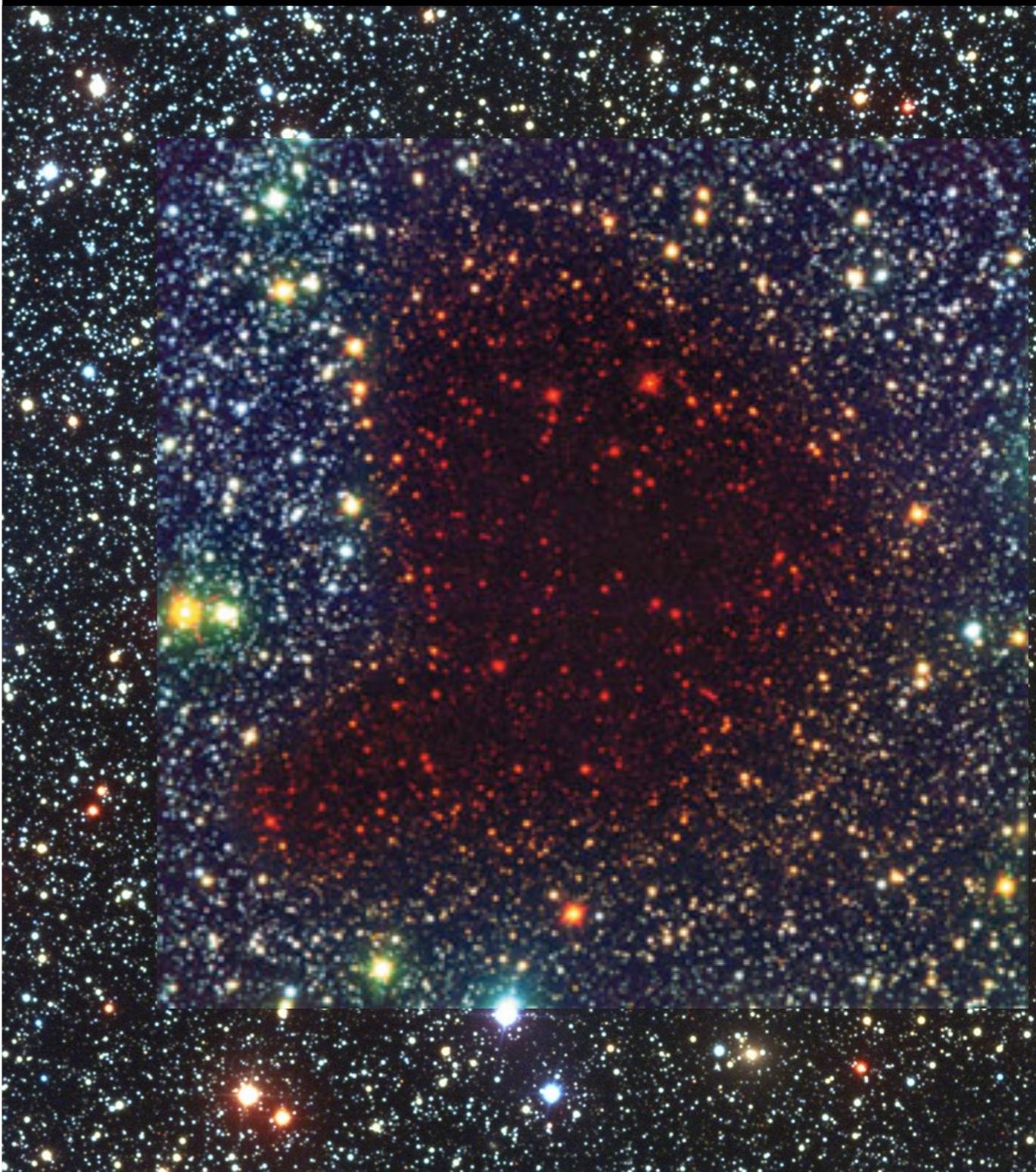
- Poussières
- Gaz neutre (région H I)
- Gaz ionisé (région H II)
- Nuages moléculaires



INTERACTIONS AVEC LE MILIEU INTERSTELLAIRE

*LE MILIEU
INTERSTELLAIRE ?
KEZAKO ?*

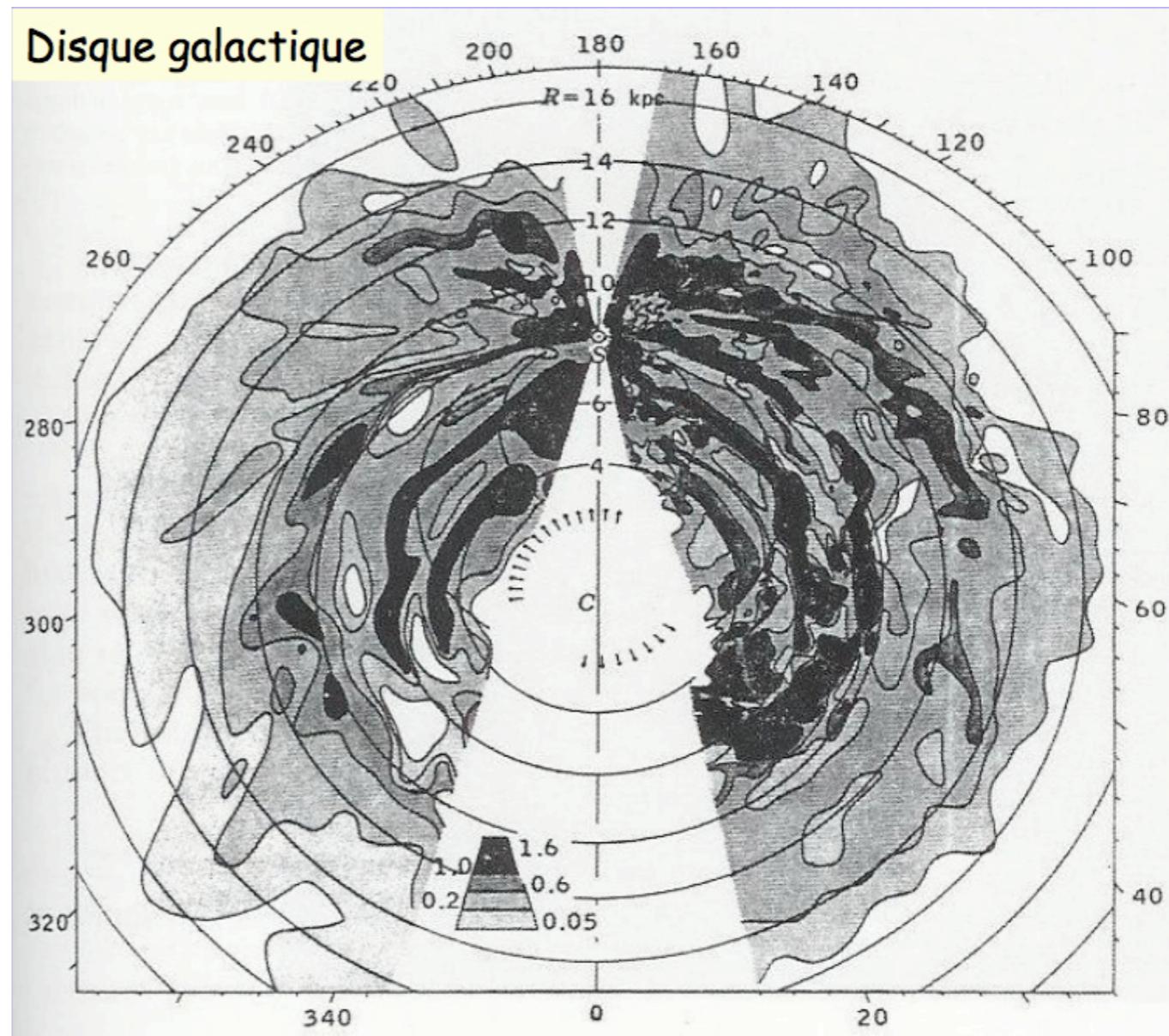
- Poussières
- Gaz neutre (région H I)
- Gaz ionisé (région H II)
- Nuages moléculaires



INTERACTIONS AVEC LE MILIEU INTERSTELLAIRE

**LE MILIEU
INTERSTELLAIRE ?
KEZAKO ?**

- Poussières
- **Gaz neutre (région H I)**
- Gaz ionisé (région H II)
- Nuages moléculaires



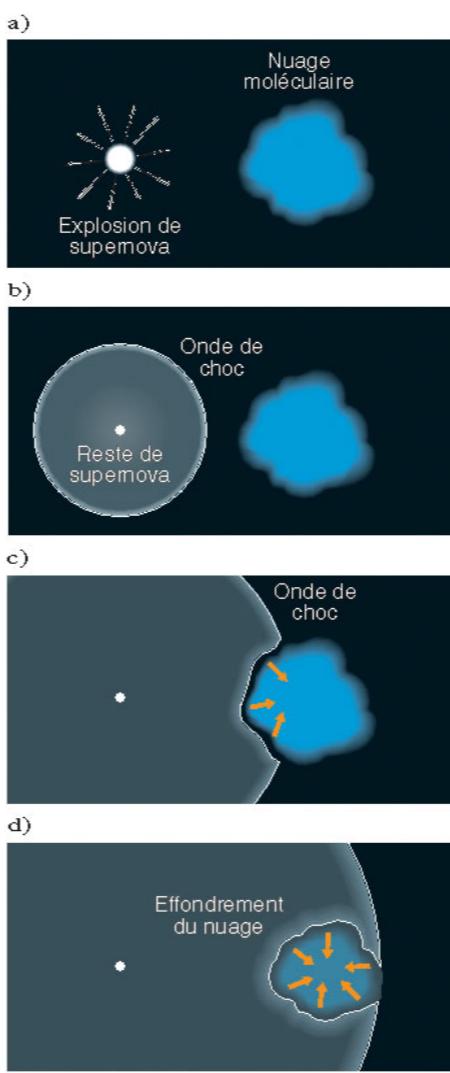
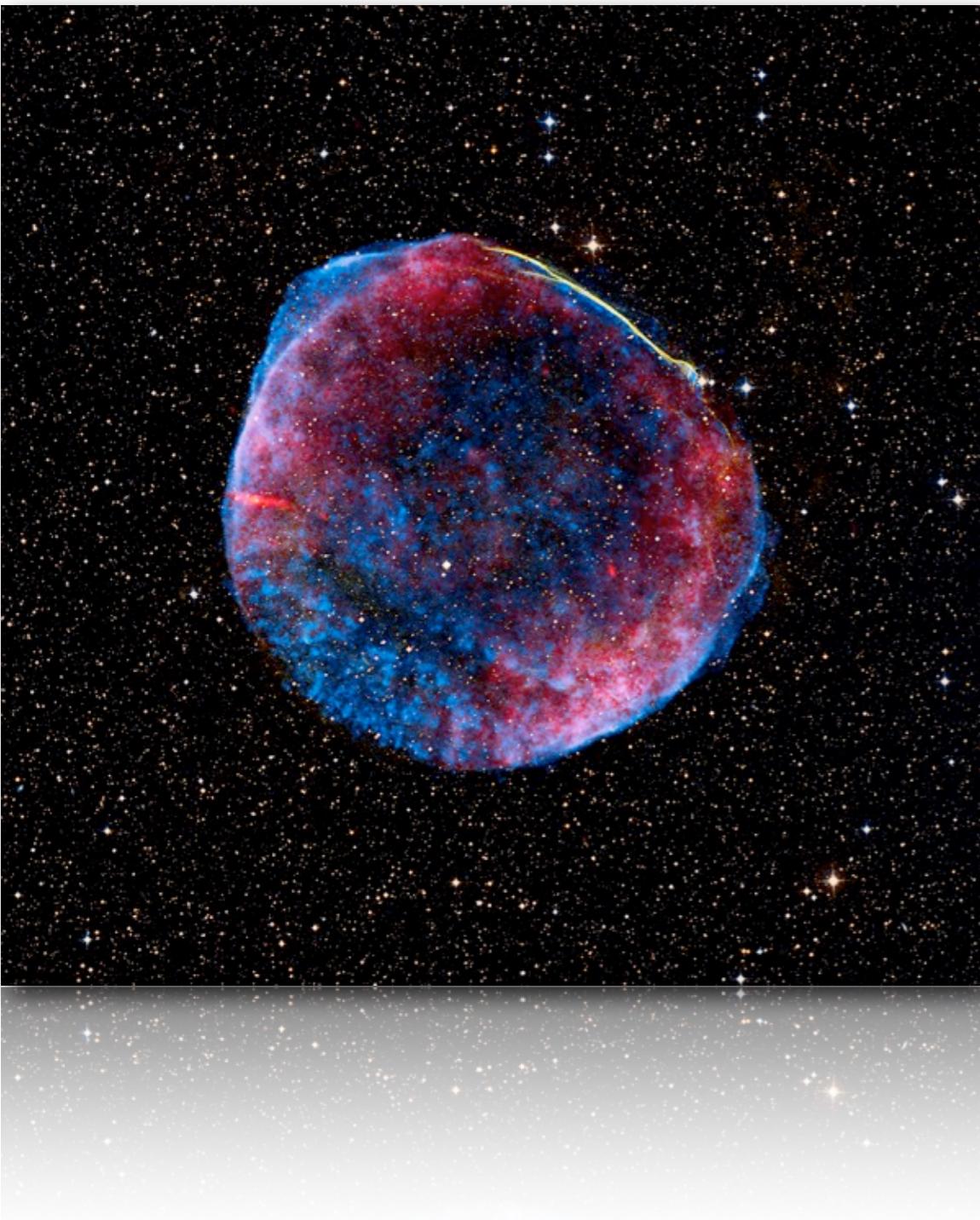
INTERACTIONS AVEC LE MILIEU INTERSTELLAIRE

*LE MILIEU
INTERSTELLAIRE ?
KEZAKO ?*

- Poussières
- Gaz neutre (région H I)
- **Gaz ionisé (région H II)**
- Nuages moléculaires



INTERACTIONS AVEC LE MILIEU INTERSTELLAIRE

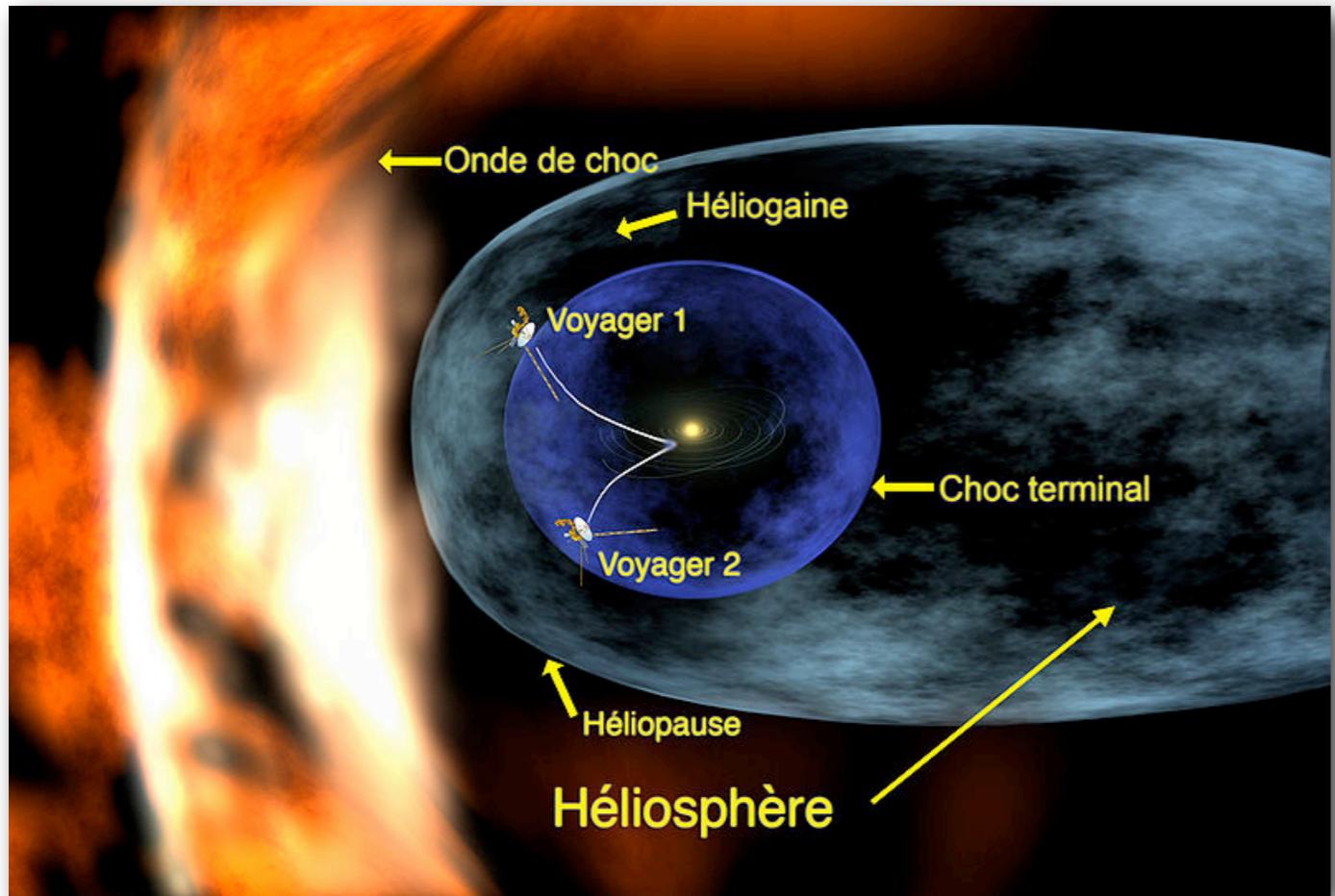


SUPERNOVAE

- Onde de choc
 - Compression du MIS
 - Formation de nouvelles étoiles
- Apports chimiques

Figure 7.5

INTERACTIONS AVEC LE MILIEU INTERSTELLAIRE



- ...mais durant toute la vie de l'étoile !

→ Comparable

- Les globules plus denses résistent

VENTS STELLAIRES ET PRESSION DE RADIATION

- Plus faibles que les SN...



INTERACTIONS AVEC LE MILIEU INTERSTELLAIRE



- ...mais durant toute la vie de l'étoile !

➡ Comparable

- Les globules plus denses résistent

VENTS STELLAIRES ET PRESSION DE RADIATION

- Plus faibles que les SN...

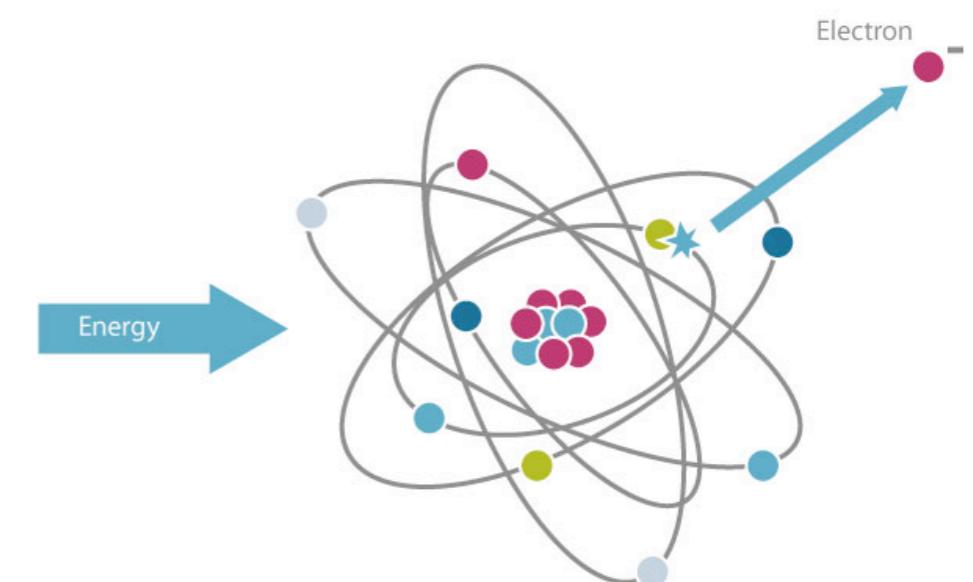


INTERACTIONS AVEC LE MILIEU INTERSTELLAIRE



BULLES D'IONISATION

- Luminosité ↑↑
- Vent stellaire (protons,...)
- Zone sphérique d'ionisation (H II)



BINARITÉS ET ASSOCIATIONS OB

- Etoiles O et B : souvent groupées (petit amas)

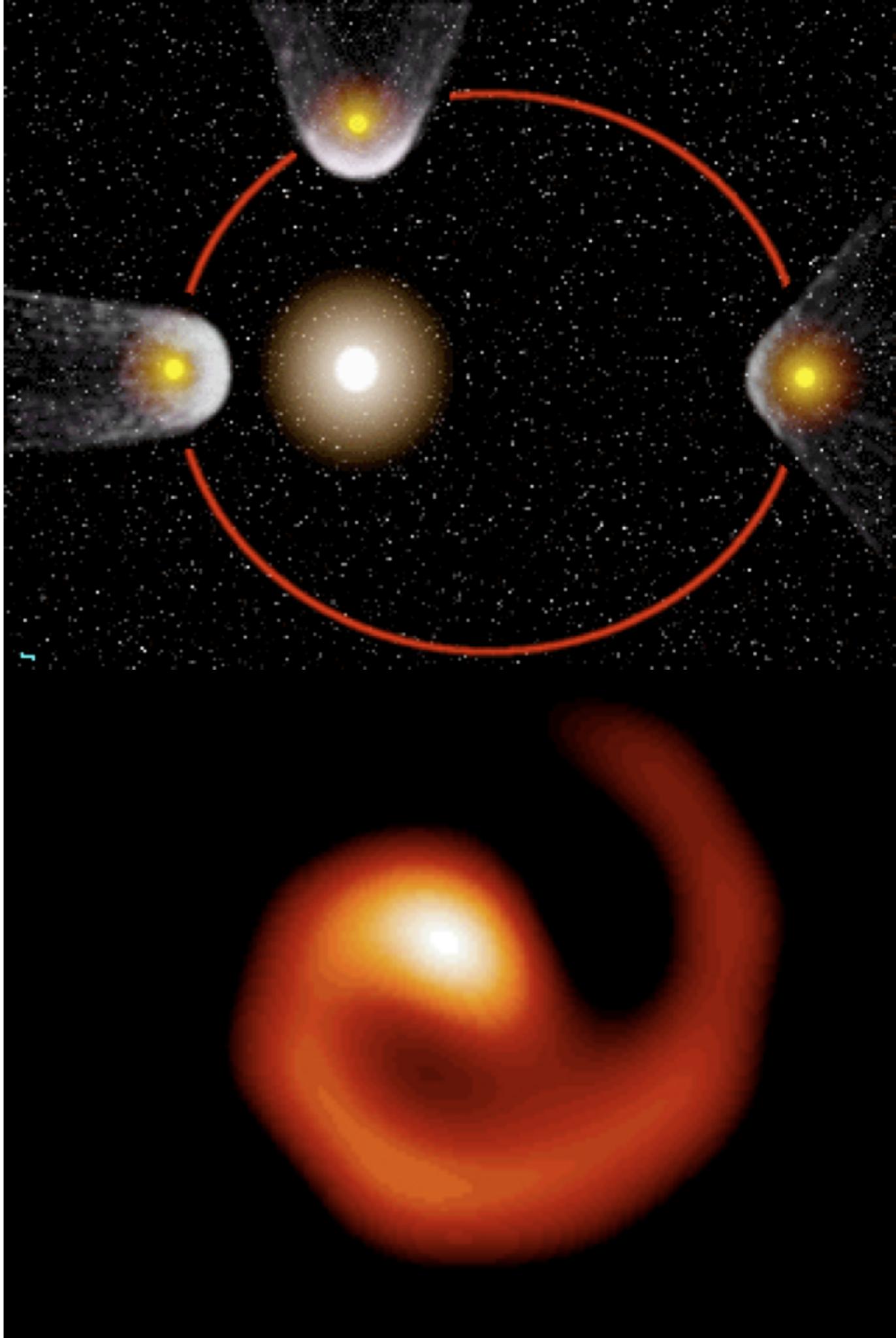
→ Associations OB

- ~ 70% des étoiles O et B sont binaires !
 - Binaires massives à collision de vents
 - Binaires X massives



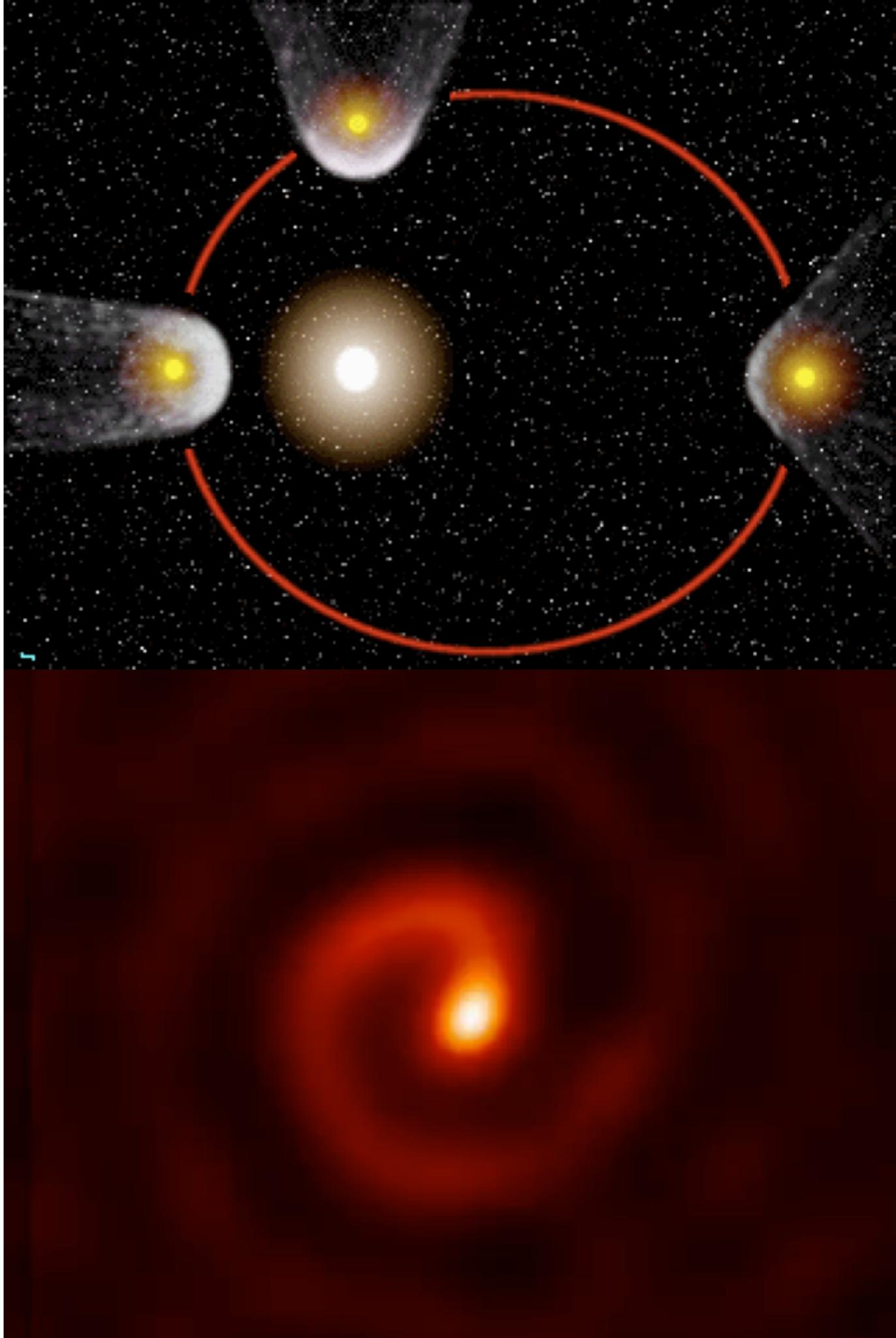
BINARITÉS ET ASSOCIATIONS OB

- Etoiles O et B : souvent groupées (petit amas)
 - Associations OB
- ~ 70% des étoiles O et B sont binaires !
 - **Binaires massives à collision de vents**
 - Binaires X massives

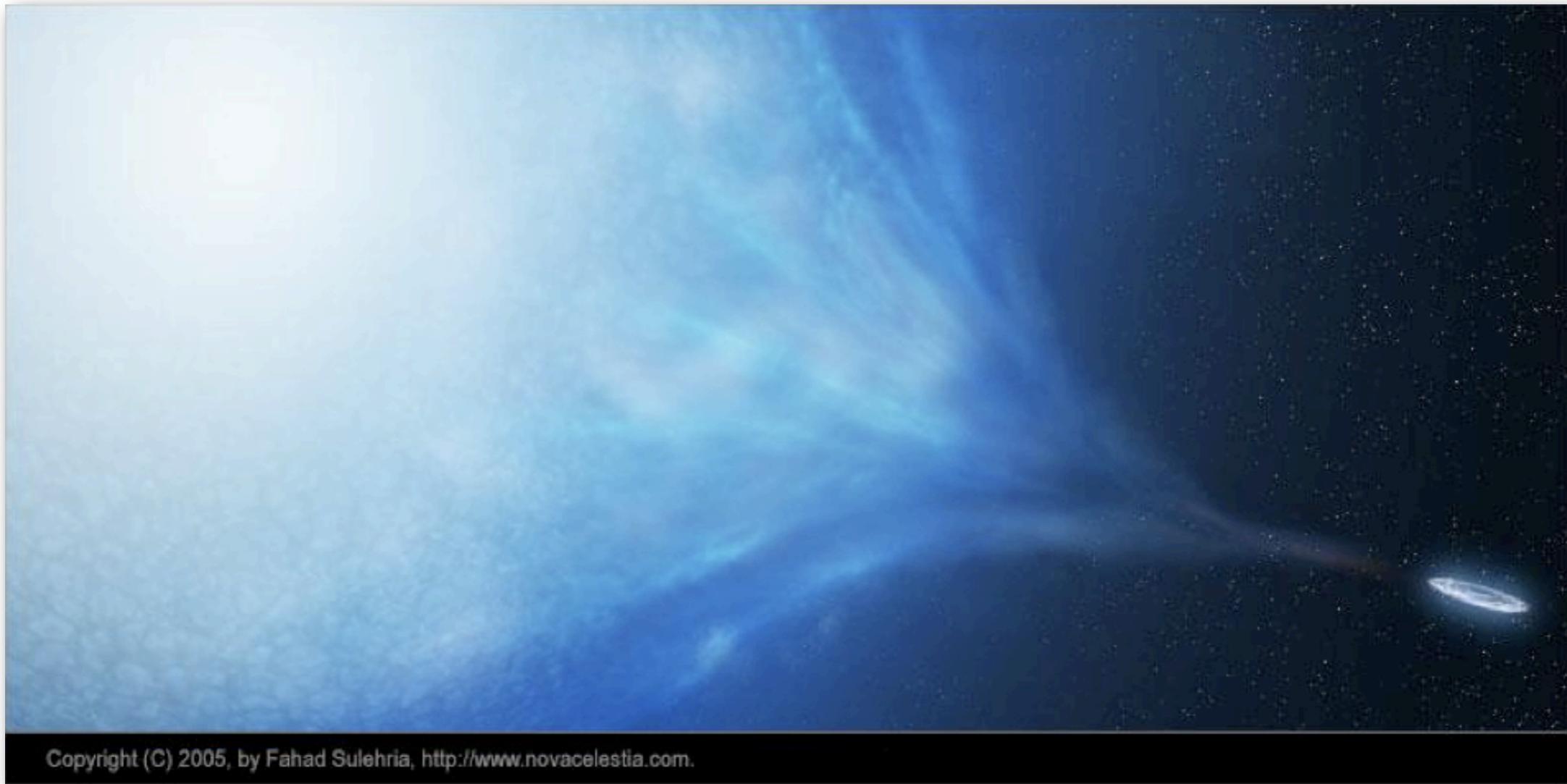


BINARITÉS ET ASSOCIATIONS OB

- Etoiles O et B : souvent groupées (petit amas)
 - Associations OB
- ~ 70% des étoiles O et B sont binaires !
 - **Binaires massives à collision de vents**
 - Binaires X massives



BINARITÉS ET ASSOCIATIONS OB

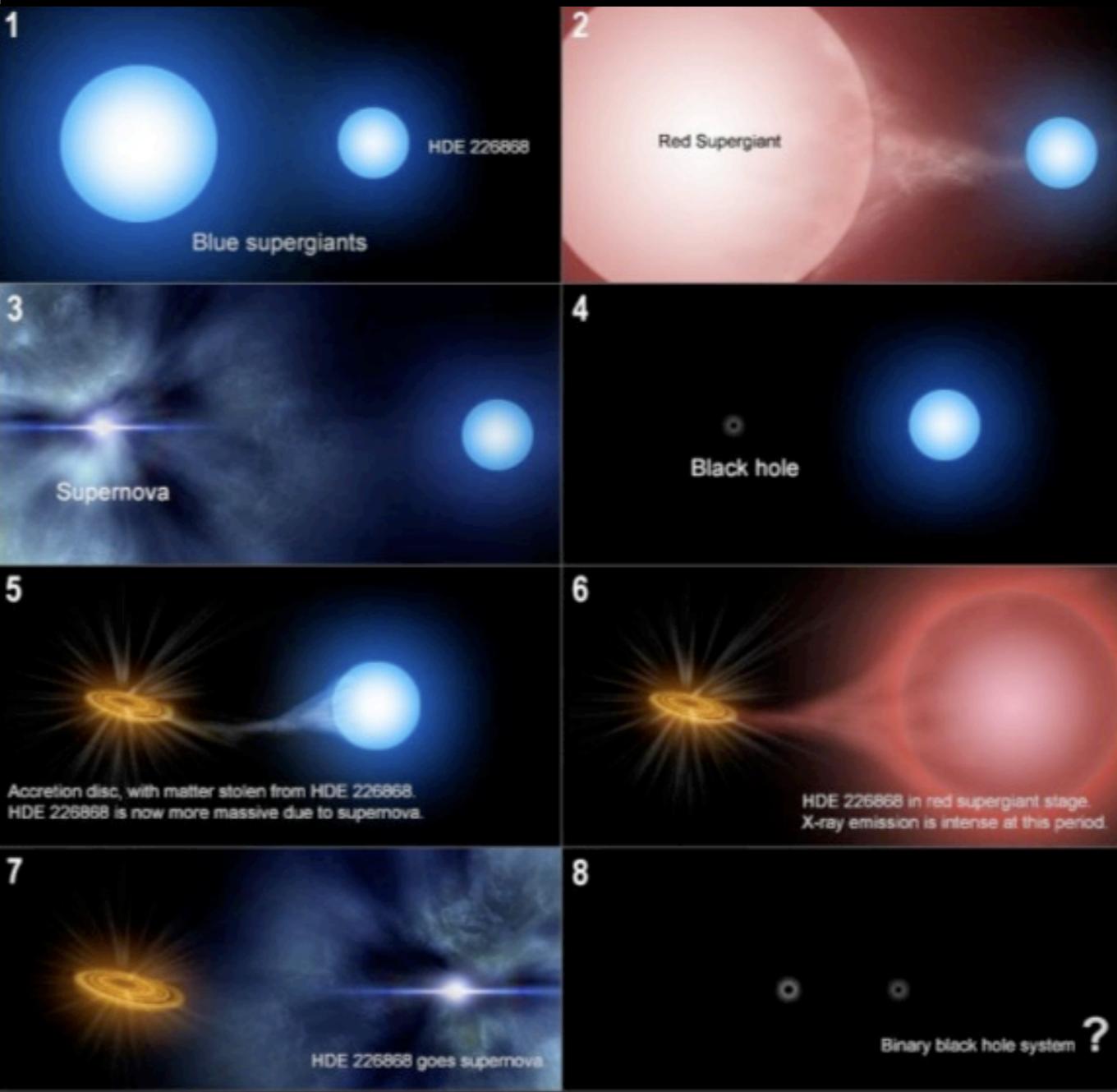


Copyright (C) 2005, by Fahad Sulehria, <http://www.novacelestia.com>.

- Binaires X massives

BINARITÉS ET ASSOCIATIONS OB

- Etoiles O et B : souvent groupées (petit amas)
- Associations OB
- ~ 70% des étoiles O et B sont binaires !
 - Binaires massives à collision de vents
 - **Binaires X massives**



QUESTIONS ET MYSTÈRES...

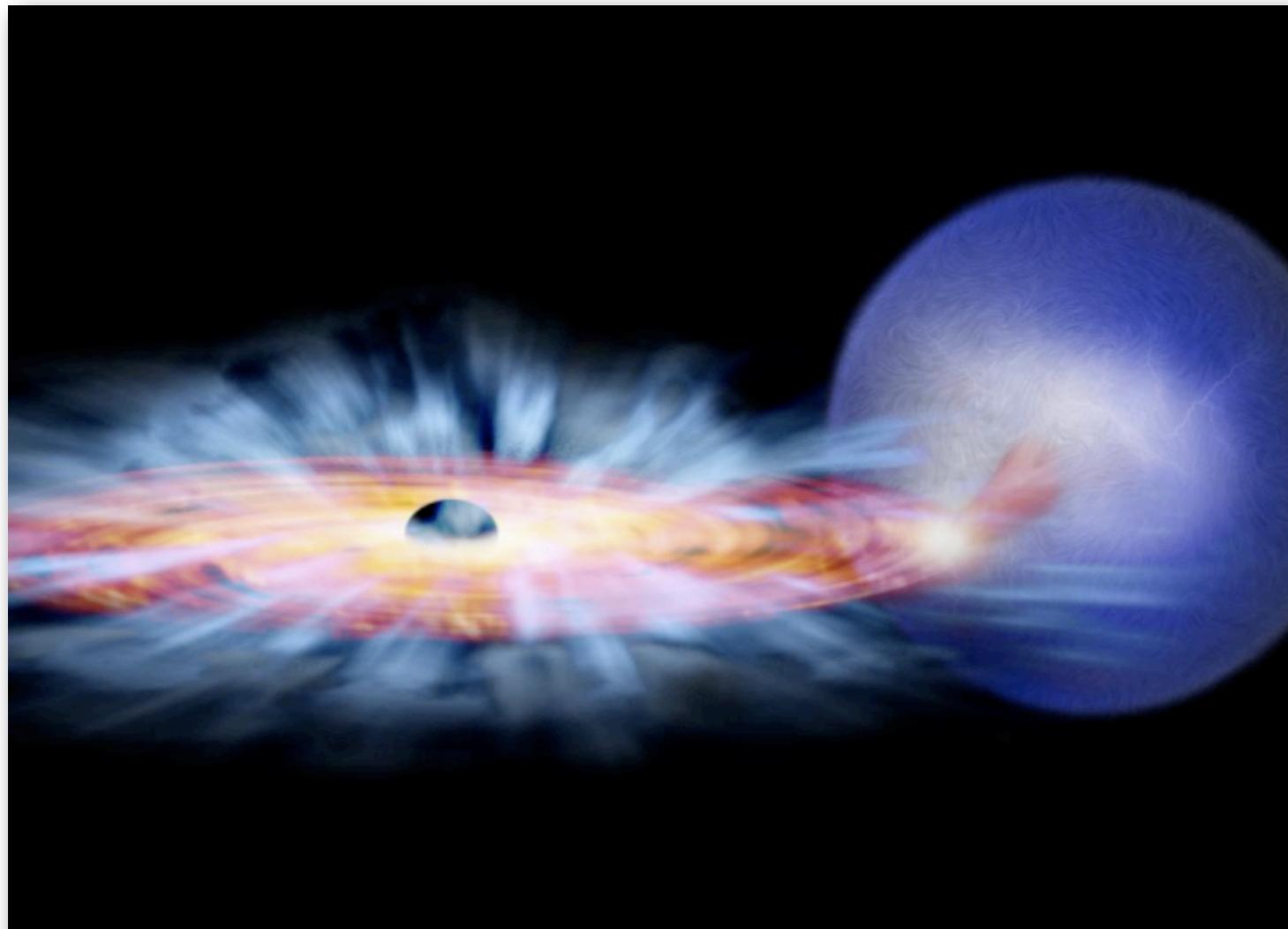
Les étoiles massives sont-elles toutes binaires ?

Que se passe-t-il dans le vent stellaire ?

Comment expliquer les Wolf-Rayet ?

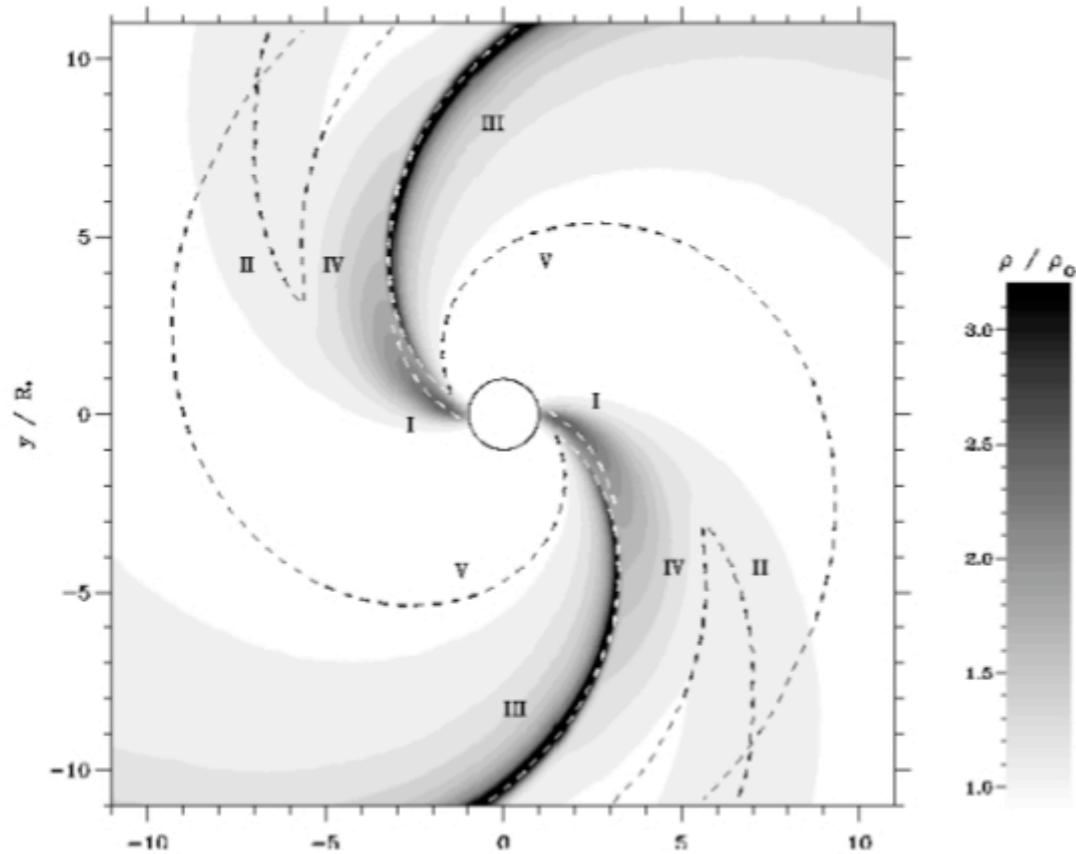
Comment expliquer l'enrichissement chimique par rotation ?

LES ÉTOILES MASSIVES SONT-ELLES TOUTES BINAIRES ?



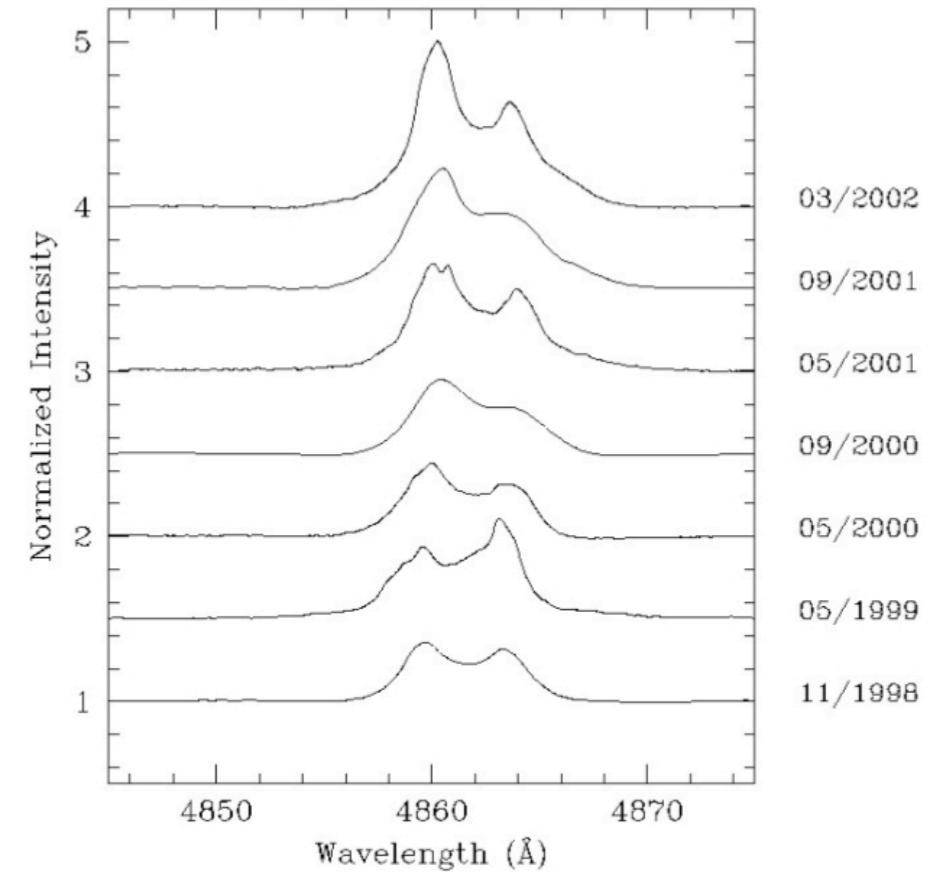
- Au moins 70% le sont...
- Et si elles évoluaient toutes par 2 ?
- Oui mais... comment l'expliquer ?
- Impossible de suivre une étoile tout sa vie :-(

QUE SE PASSE-T-IL DANS LE VENT STELLAIRE ?

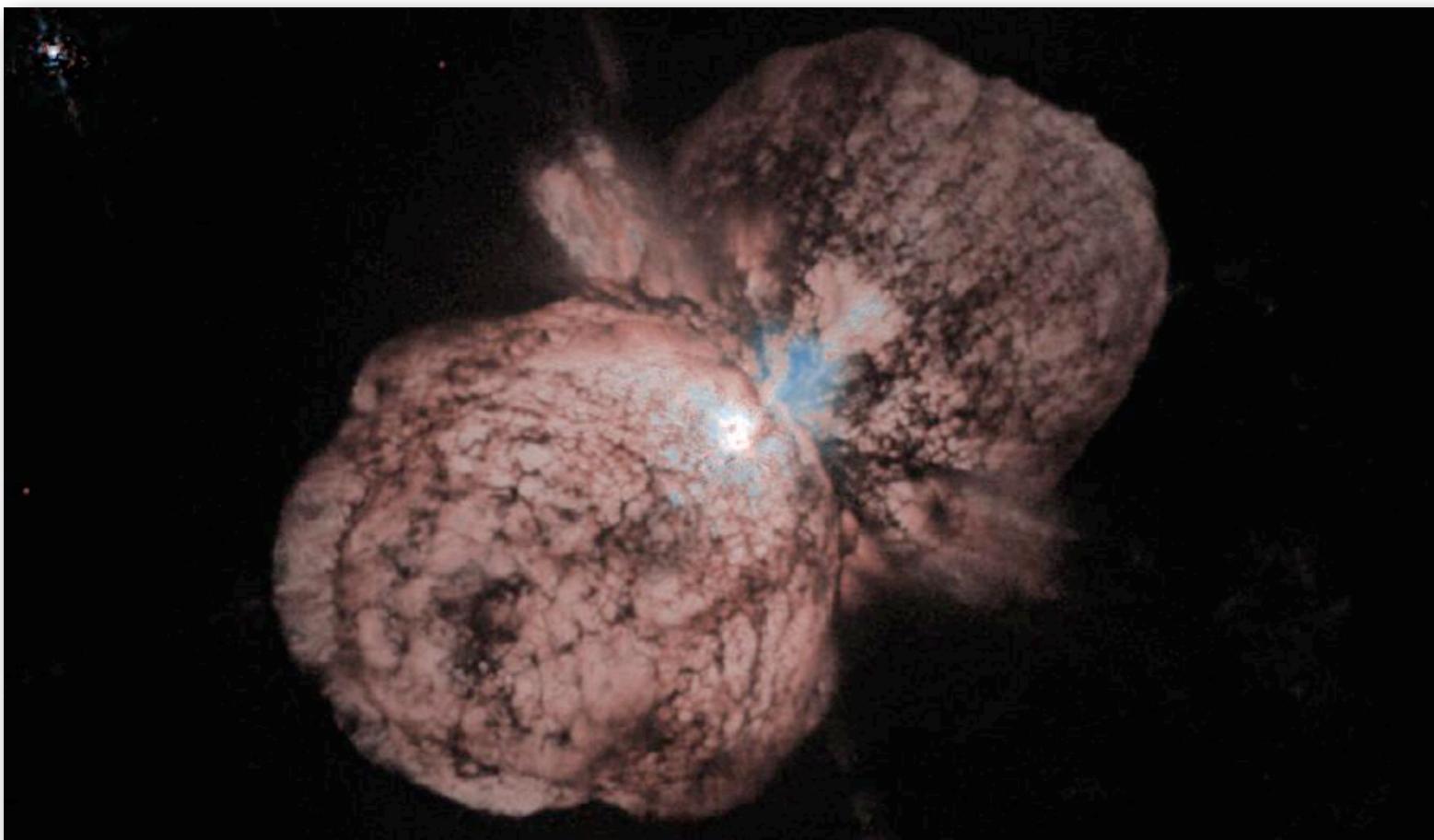


- DACs ? Clumps ? Co-rotation avec l'étoile ?
- On ne connaît pas grand chose du vent de ces étoiles ! :-)

- Exemple : ζ Puppis
- Variabilités non-récurrentes

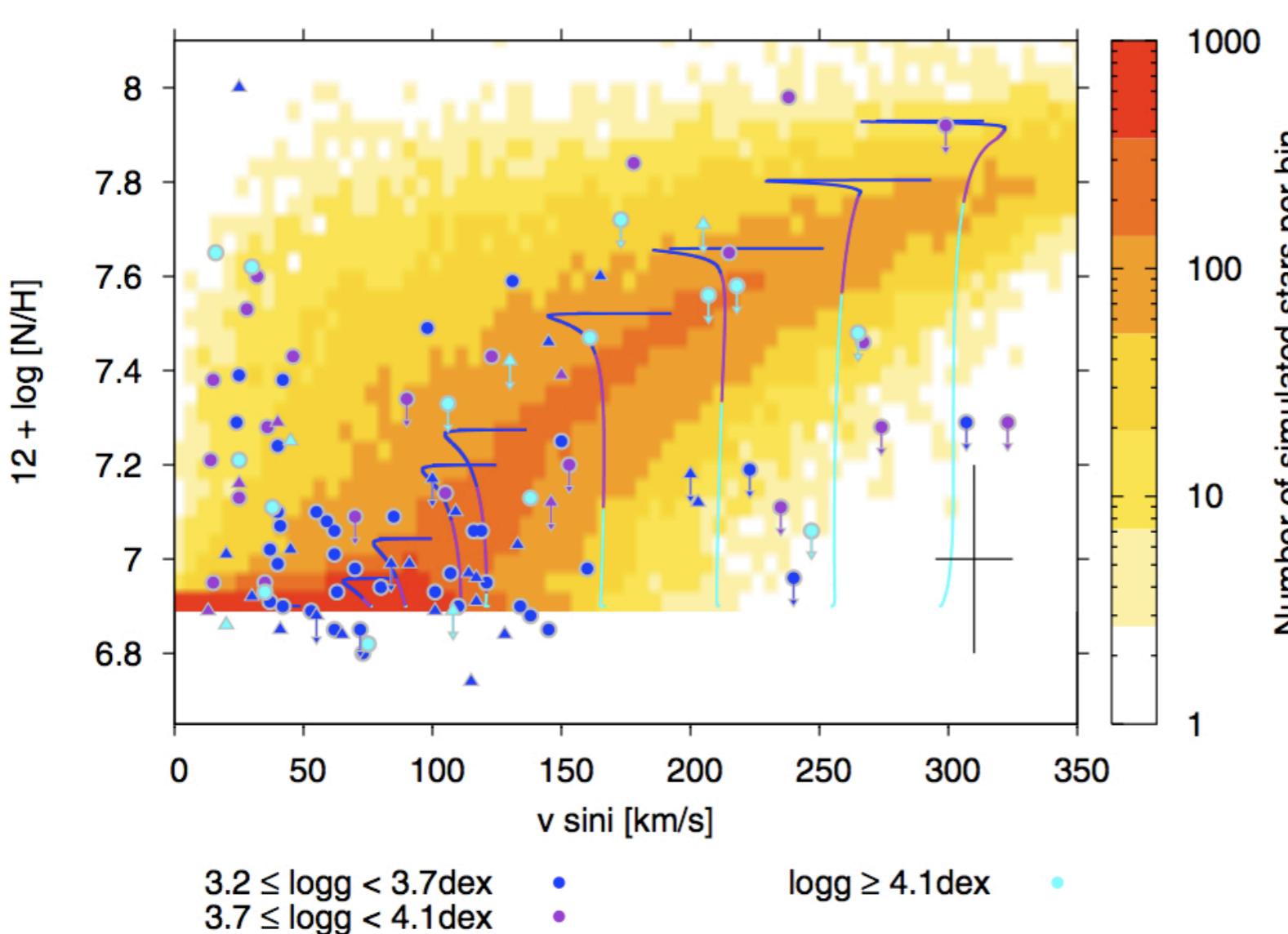


COMMENT EXPLIQUER LES WOLF-RAYET ?



- Pourquoi perdent-elles autant de masse ?
- Catégorie d'étoiles à part ?
- Etat d'évolution des étoiles O et B ?
- Toutes les étoiles massives passent-elles par le stade «Wolf-Rayet» ?

COMMENT EXPLIQUER L'ENRICHISSEMENT CHIMIQUE PAR ROTATION ?



- Rotateurs rapides : remontées des éléments C, N, O,...
- Enrichissement chimique à la surface
- Théorie $><$ observations
 - ✓ Rotateurs lents très enrichis
 - ✓ Rotateurs rapides peu enrichis

CONCLUSION...



«Nous sommes des poussières d'étoiles (massives)»

FIN

Merci de votre attention :-)

