

# PARAMÈTRES INFLUANT LES CARACTÉRISTIQUES DE L'ÉTOILE (TAILLE, DURÉE DE VIE, LUMINOSITÉ)

# Masse et « métallicité »

## 2 paramètres primordiaux

2 paramètres jouent sur le produit final lors de la synthèse stellaire:

1. **Une masse** croissante du globule de Bok permettra l'obtention d'une naine brune, d'une naine rouge, d'une \* type Soleil ou d'une géante bleue;
2. **La métallicité** influera sur la taille de l'\* et la probabilité de posséder des planètes telluriques en orbite.

# MASSE STELLAIRE MINIMALE

<b>Paramètres de l'Etoile minimale</b>	
<b>Masse</b>	$\sim 0,08 M_{\odot} \quad \sim 80 M_J$
<b>Température photosphérique effective</b>	$T_{\text{eff}} : \sim 2.000 \text{ K}$
<b>Luminosité</b>	$\sim 10^{-4} L_{\odot}$
<b>Rayon</b>	$\sim 0,1 R_{\odot} \quad \sim 1 R_J$ [ $\sim 70.000 \text{ km}$ ]

\*Ces données découlent de calculs de physique théorique

# MASSE STELLAIRE MAXIMALE

**Si  $M > 140 M_{\odot}$  l'étoile se désagrège !!!**

**La limite d'Eddington ou luminosité d'Eddington** représente la valeur de luminosité qu'une étoile ne peut dépasser faute de quoi la pression de radiation prendrait le pas sur la gravité et ses constituants ne lui seraient plus attachés.

De telles étoiles géantes présentent des soubresauts de vents violents qui arrachent leurs couches périphériques et les dissimulent derrière une nébuleuse (étoiles de W-R).

# $\eta$ carinae

Une  
variable  
lumineuse  
bleue de  
180  $M_{\odot}$  et  
qui a déjà  
perdu au  
moins 1/6  
de  
sa masse.

# Particularités des $\star \neq$ du Soleil

Tailles comparées  
d'étoiles

$\sim 0,2 M_{\odot}$



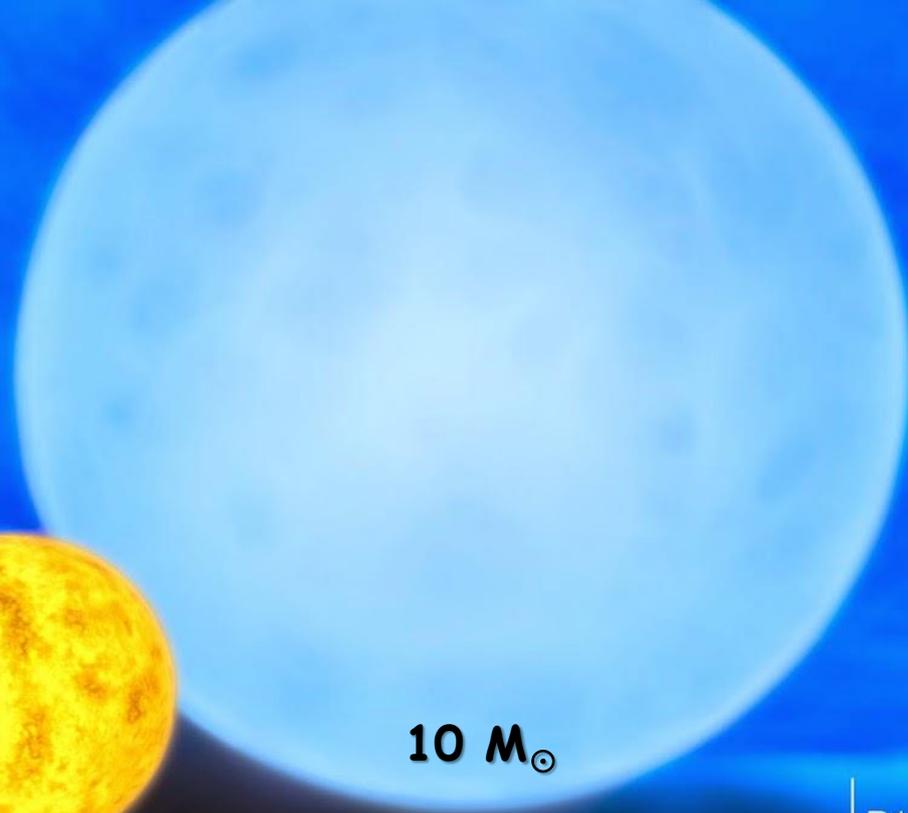
| red dwarf



| yellow dwarf (Sun-like)

$10 M_{\odot}$

| blue dwarf



| R136a1

W-R de  
 $265 M_{\odot}$



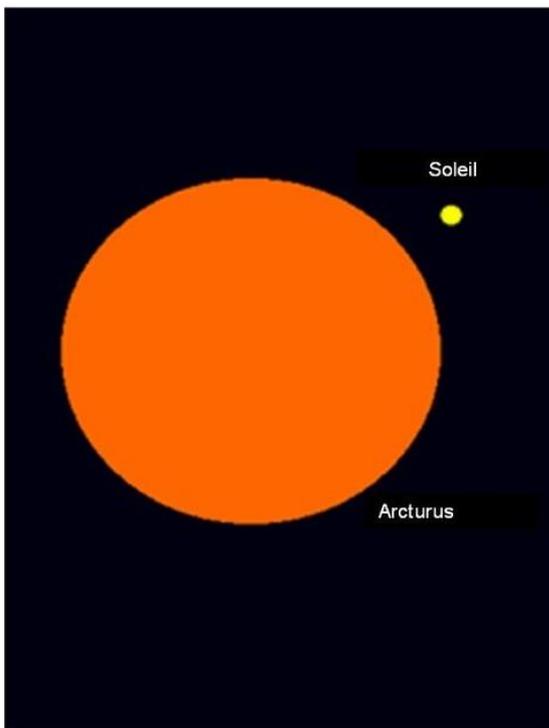
# Genèse des étoiles géantes

$$M > \sim 5 M_{\odot}$$

Paradoxalement elles évolueront plus rapidement que le soleil en conservant les mêmes étapes de formation; Leur espérance de vie sur la séquence principale sera également très raccourcie.

Fusion « CNO »  
 $T^{\circ} > 20.10^6 \text{ K}$ ,

Inversion des zones radiative et convective.



# Genèse des étoiles naines



## I

Leurs faibles masses (entre  $0,08 M_{\odot}$  et 13 masses de Jupiter ) ne leur permettent pas d'atteindre la  $T^{\circ}$  critique de fusion de l'H. Elles dégènereront en **naines brunes**;

## II

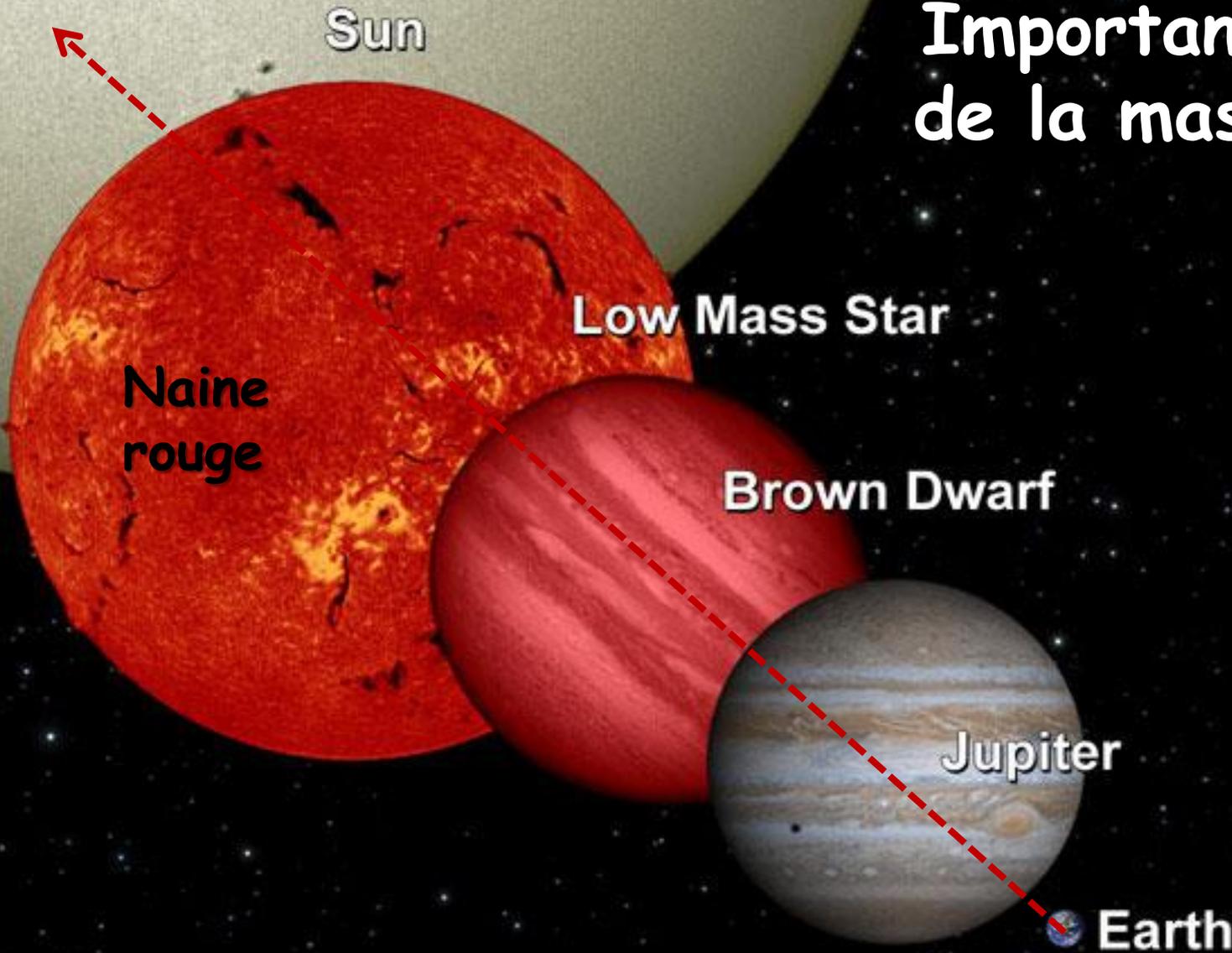
Pour une masse comprise entre  $0,08$  et  $0,35 M_{\odot}$  se constituent les **naines rouges**, étoiles à très longue vie (filière P-P, convection pure), elles forment la majorité des étoiles présentes.



# Particularités des naines brunes

- Une naine brune représente une étoile avortée, un objet dont la température centrale n'atteindra jamais la  $T^\circ$  plancher nécessaire à l'amorce de la fusion de l'H.
- Les deux millions de degrés espérés autoriseront un temps la réaction de fusion du D présent en très faible quantité.
- Les naines brunes deviendront ainsi des astres à l'intérieur desquels la matière dégènera et dont l'effondrement gravitationnel ainsi que le refroidissement se poursuivront presque éternellement.

# Importance de la masse

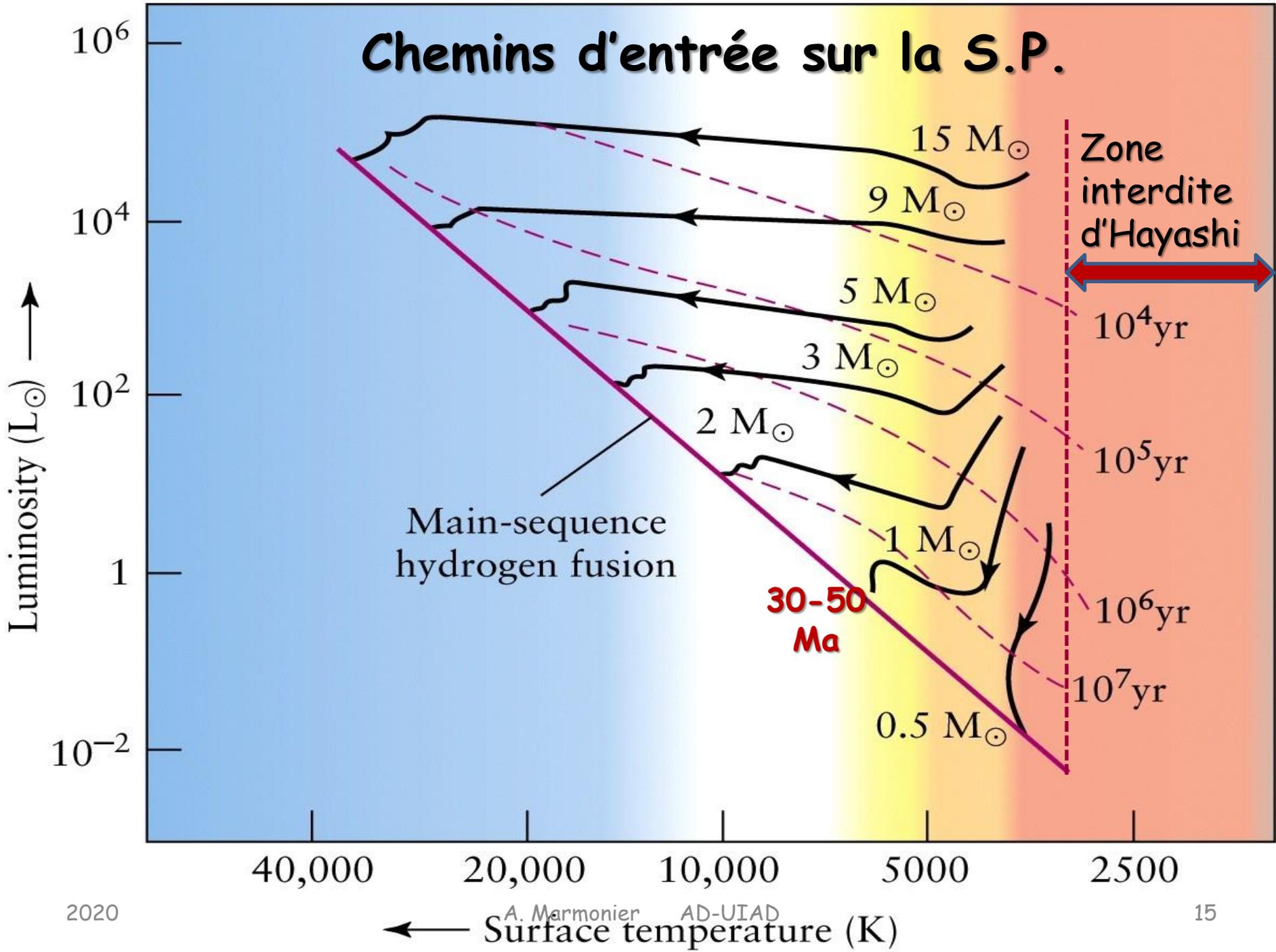


# Continuum d'objets des planètes aux étoiles

Type objet	Planète gazeuse géante	Naine Brune	Etoile Naine Rouge	Etoile de type Soleil
Masse $M_J$	0,3-13	13-75	$> \sim 75$	$> \sim 250$
Masse $M_\odot$	$\sim 0,001$	0,01-0,07	$> \sim 0,08$	$> \sim 0,4$
Rayon km	$\sim 60.000$	$\sim 70.000$	$\sim 200.000$	$\sim 500.000$
$T^\circ_s$ Kelvin	$\sim 100$	$\sim 1.500$	$\sim 3.400$	$\sim 5.800$
Fusion H	NON	NON	OUI	OUI
Fusion D	NON	OUI*	OUI	OUI

- \*Fusion brève jusqu'à l'épuisement du peu de combustible disponible
- Les chiffres proposés ne représentent que des « ordres d'idées »...

# Chemins d'entrée sur la S.P.



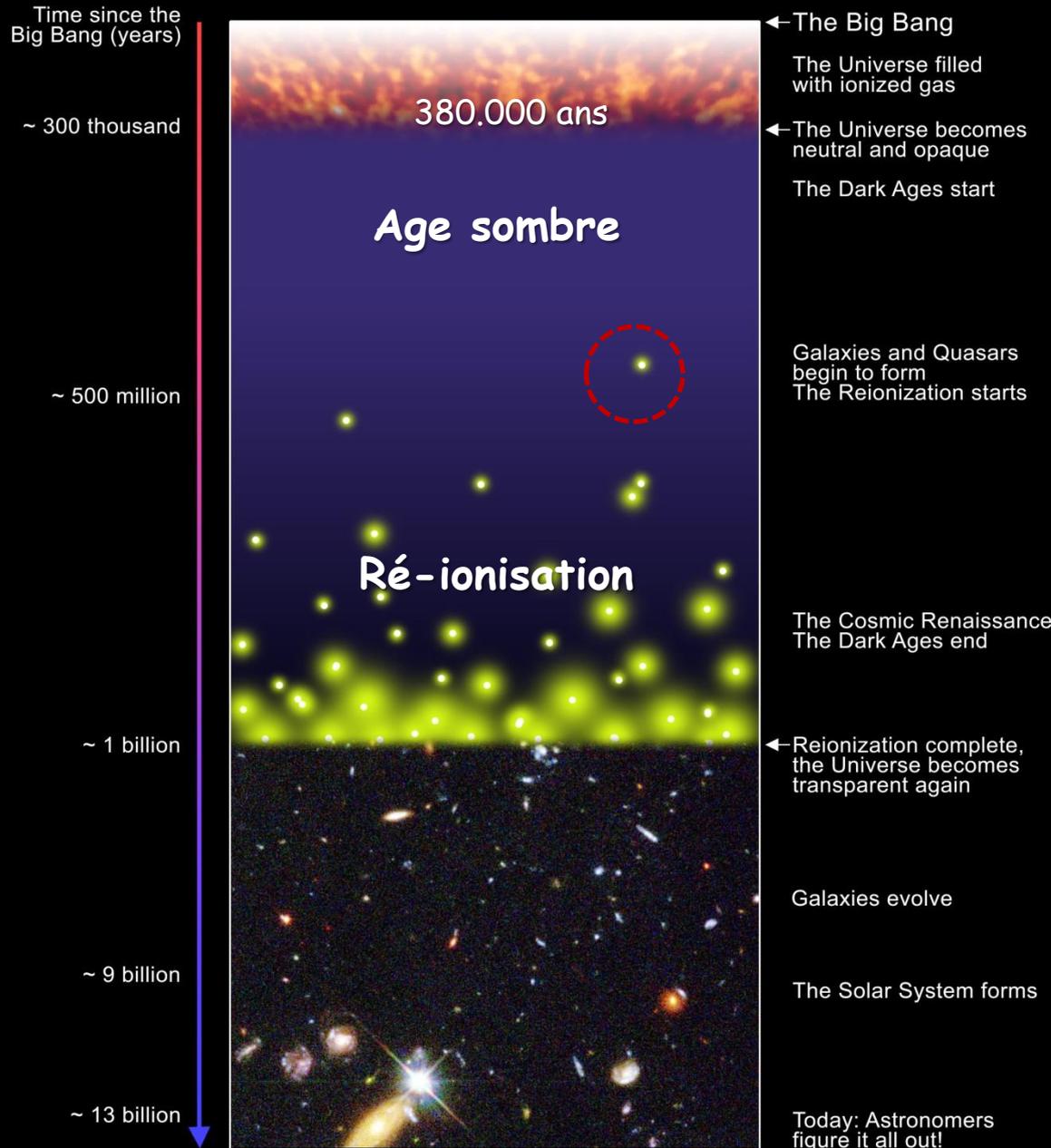
# Répartition en masse dans la VL

Type spectral	O	B	A	F	G	K	M
$T_{\odot}$	$40 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^3$	$8,5 \cdot 10^3$	$6,5 \cdot 10^3$	$5,7 \cdot 10^3$	$4,5 \cdot 10^3$	$3,2 \cdot 10^3$
$R_{\odot}$	10	7	1,5	1,3	1	0,8	0,3
$M_{\odot}$	$\geq 50$	10	2	1,5	1	0,7	0,2
$L_{\odot}$	$100 \cdot 10^3$	$10^3$	20	4	1	0,2	0,01
Durée de vie $\times 10^6$	10	100	1.000	3.000	10.000	50.000	200.000
Abon-dance %	$10^{-5}$	0,1	0,7	2	3,5	8	80

# LES ÉTOILES ET L'ÂGE DE L'UNIVERS

# What is the Reionization Era?

A Schematic Outline of the Cosmic History



S.G. Djorgovski et al. & Digital Media Center, Caltech

# Phase de ré-ionisation

A la fin de l'âge sombre les premiers nuages de gaz (H, He) s'effondrent sous l'effet de la gravité et donnent ainsi naissance aux 1<sup>ères</sup> étoiles de l'Univers...

# STAR STATS

## COMPARING CHARACTERISTICS

Computer simulations have given scientists some indication of the possible masses, sizes and other characteristics of the earliest stars. The lists below compare the best estimates for the first stars with those for the sun.

### Comparaison Soleil/étoiles primitives



Géantes  
bleues

Pas de  
poussières H  
et He seuls

RICHARD B. LARSON AND VOLKER BROMM  
December, 2004, SCIENTIFIC AMERICAN, INC.

#### SUN

MASS:  $1.989 \times 10^{30}$  kilograms

RADIUS: 696,000 kilometers

LUMINOSITY:  $3.85 \times 10^{23}$  kilowatts

SURFACE TEMPERATURE: 5,780 kelvins

LIFETIME: 10 billion years

#### FIRST STARS

MASS: 100 to 1,000 solar masses

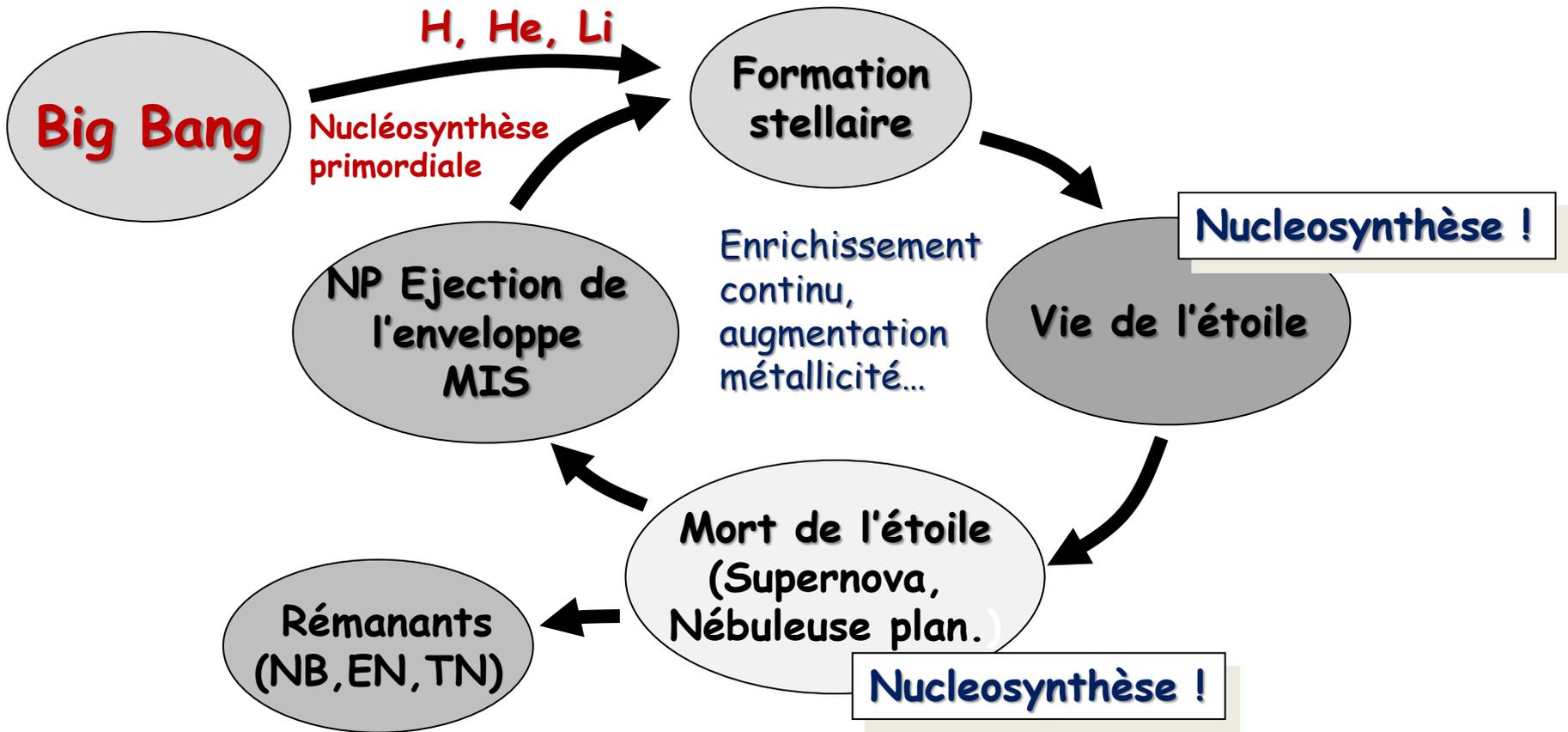
RADIUS: 4 to 14 solar radii

LUMINOSITY: 1 million to 30 million solar units

SURFACE TEMPERATURE: 100,000 to 110,000 kelvins

LIFETIME: 3 million years

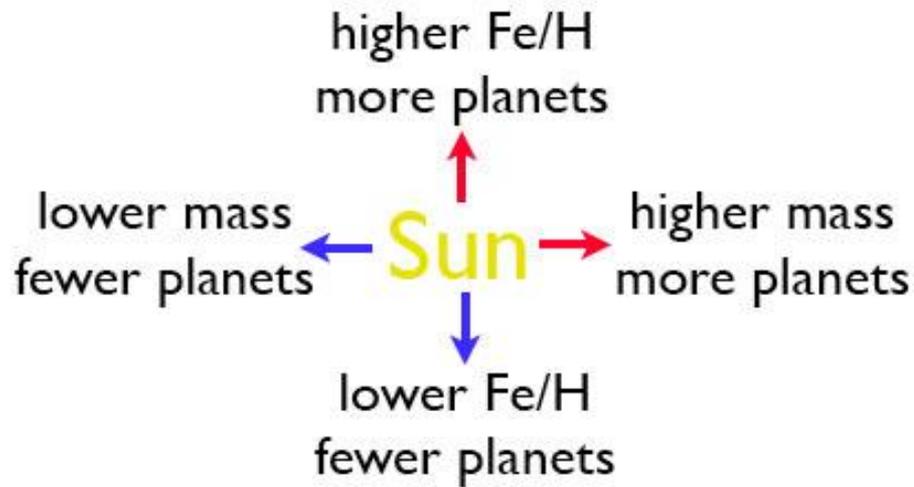
# Enrichissement du MIS



NB: Naine Blanche  
EN: Etoile Neutron  
NP: Nébuleuse Planétaire  
MIS: Milieu InterStellaire

# Population des étoiles en fonctions de leur « métallicité »

- 1. Population I** : étoiles riches en « métaux », communes dans les bras des galaxies spirales dont l'âge s'étale entre 50 millions et 9 milliards d'années environ.
- 2. Population II** : Les étoiles pauvres en métaux, présentes dans les amas globulaires et dans le halo des galaxies, généralement très anciennes (plus de 8 milliards d'années)
- 3. Population III** : composées que d'hydrogène et d'hélium, trahissant ainsi la première génération d'étoiles après le Big-Bang. Elles devraient avoir toutes disparues ou presque...



# Rôle de la métallicité de la proto-étoile

- La masse et la « métallicité » du nuage géniteur et donc de la protoétoile jouent un rôle important dans la probabilité d'existence d'un ± grand nombre de planètes formées dans le disque protoplanétaire;
- Les planètes telluriques notamment ont besoin de métaux lourds pour atteindre une masse critique dans le disque interne.

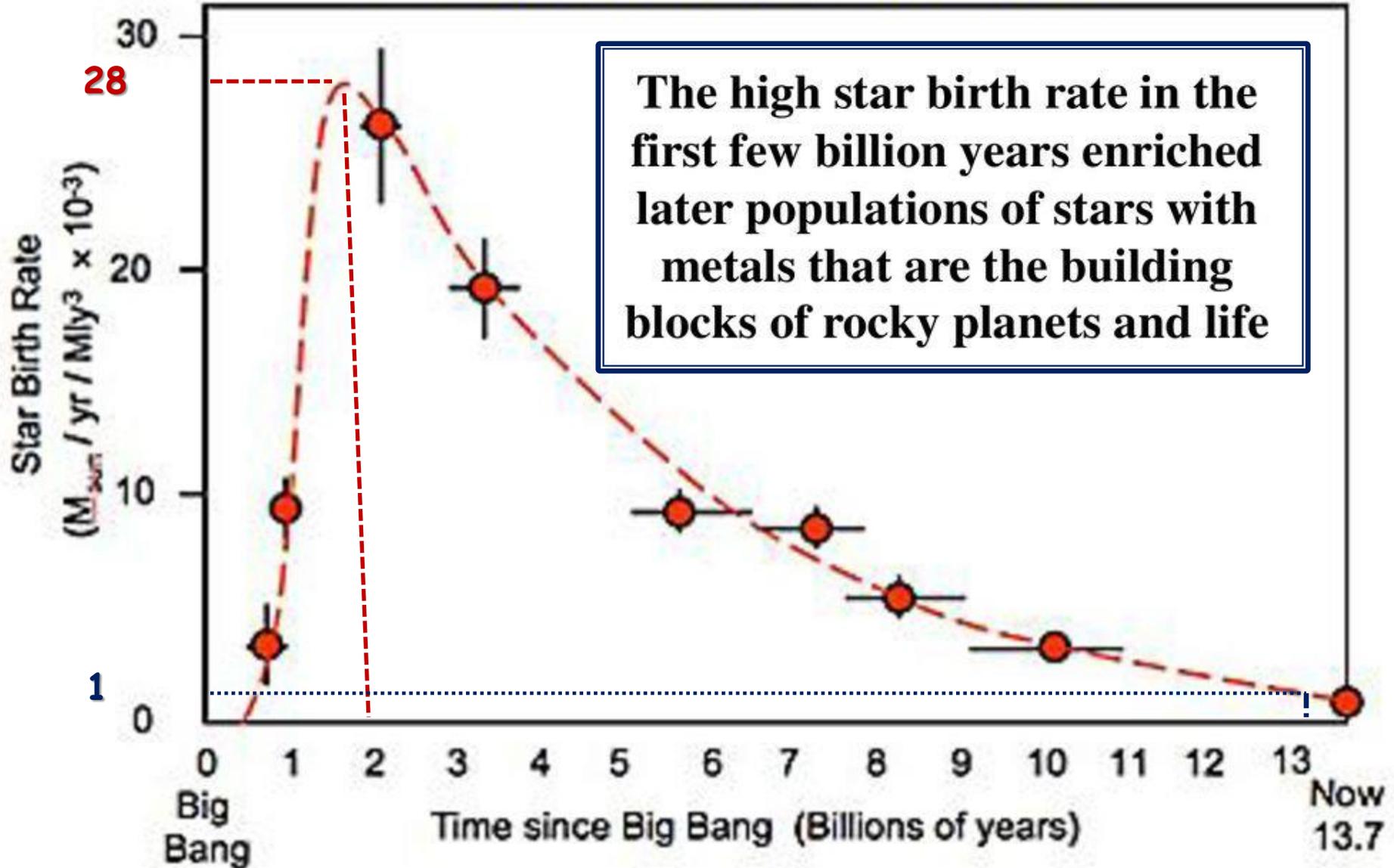
# Taux de formation stellaire /an dans la Voie Lactée

Phénomène irrégulier sous la dépendance de nombreux facteurs galactiques

1. Beaucoup de naissance il y a 12 Ga et pendant 4 Ga;
2. Accalmie pendant 5 Ga;
3. Il y a 2-3 Ga reprise de formation intense (en 100 Ma synthèse stellaire de  $42 M_{\odot}$  de  $M_{\odot}$ );
4. Aujourd'hui l'équivalent de 2 à 4  $M_{\odot}$  d'étoiles sont formées à partir de nuages de gaz et poussières...

*GAIA, Astronomy and Astrophysics (2019)*

# Cosmic Star Birth History



# Schéma du processus de formation stellaire

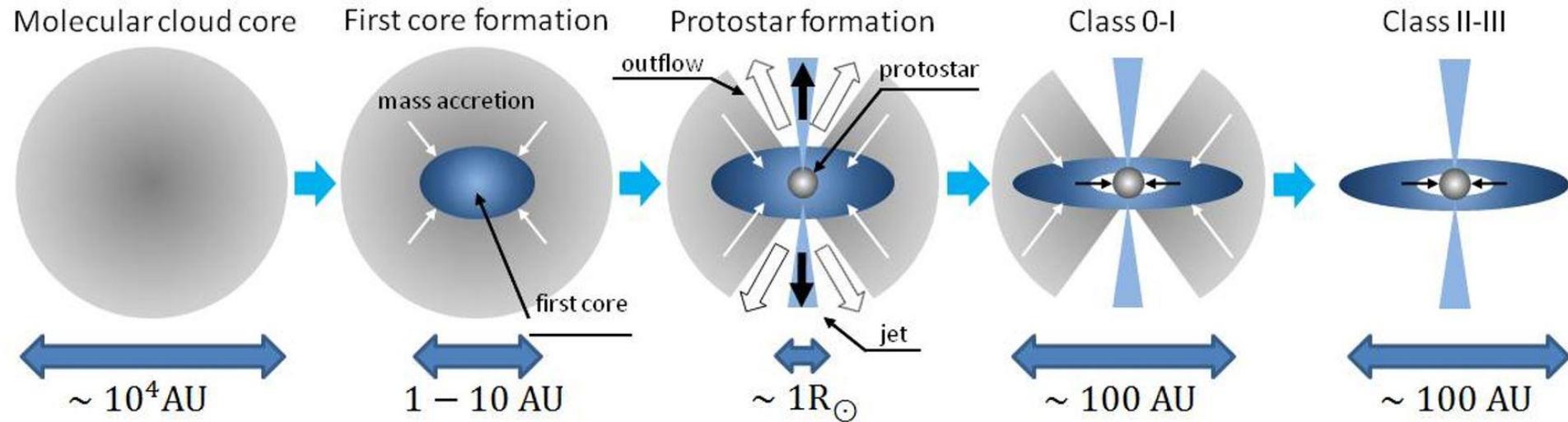
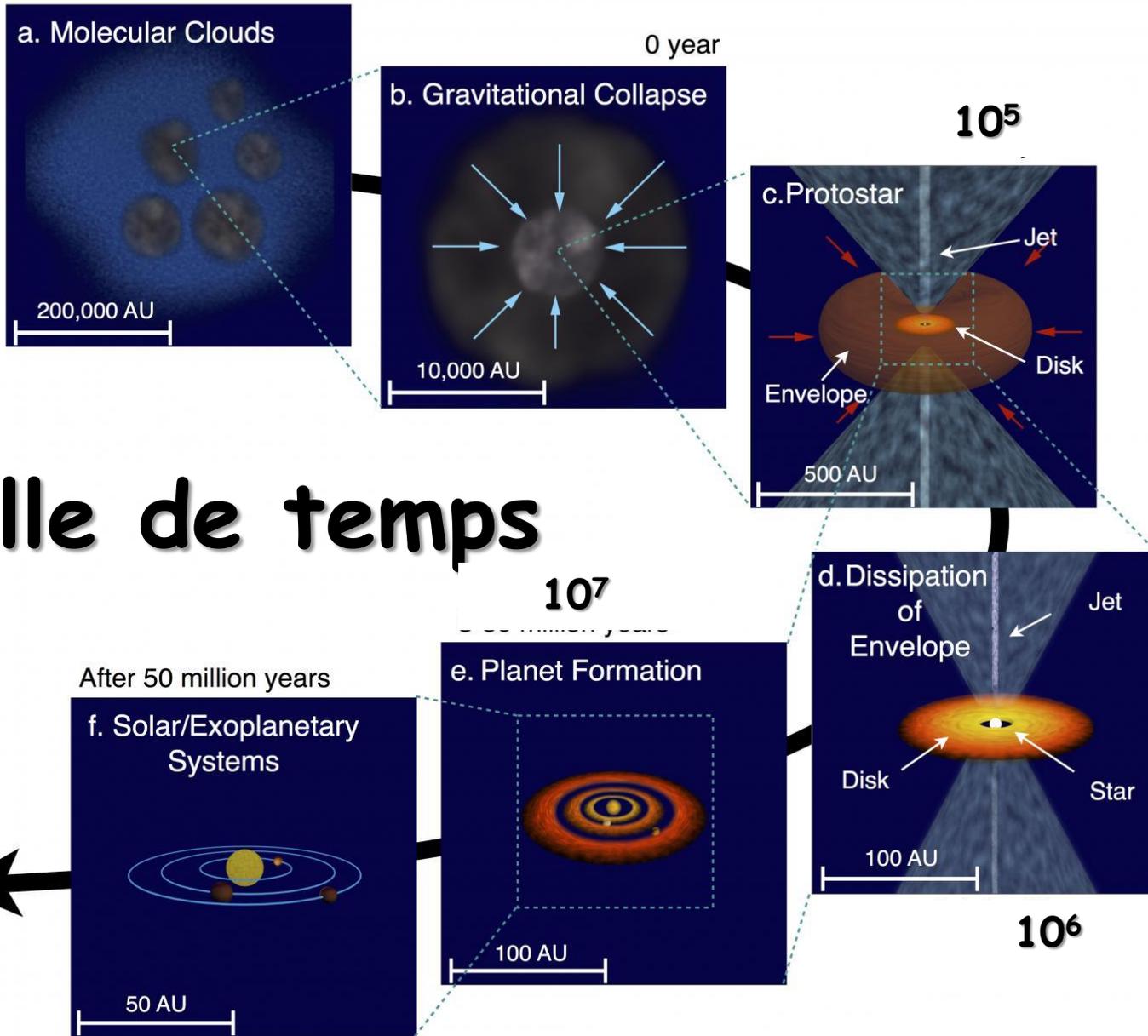


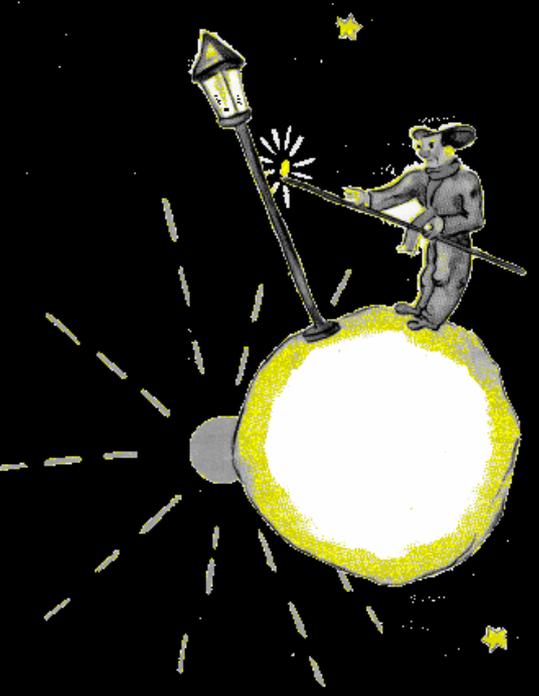
Figure 1

Illustration of the star formation process (Yusuke Tsukamoto, RIKEN)

Les étoiles se forment au sein d'immenses nuages moléculaires lorsque les gaz et les poussières s'effondrent sous l'action dominante de la gravité.



# Echelle de temps



« ...Et il ralluma  
son réverbère. Le  
petit prince le  
regarda et il aima  
cet allumeur qui  
était tellement  
fidèle à la  
consigne. »

*Antoine de Saint  
Exupéry*

2020



A. Marmontier

AD-UIAD

28