

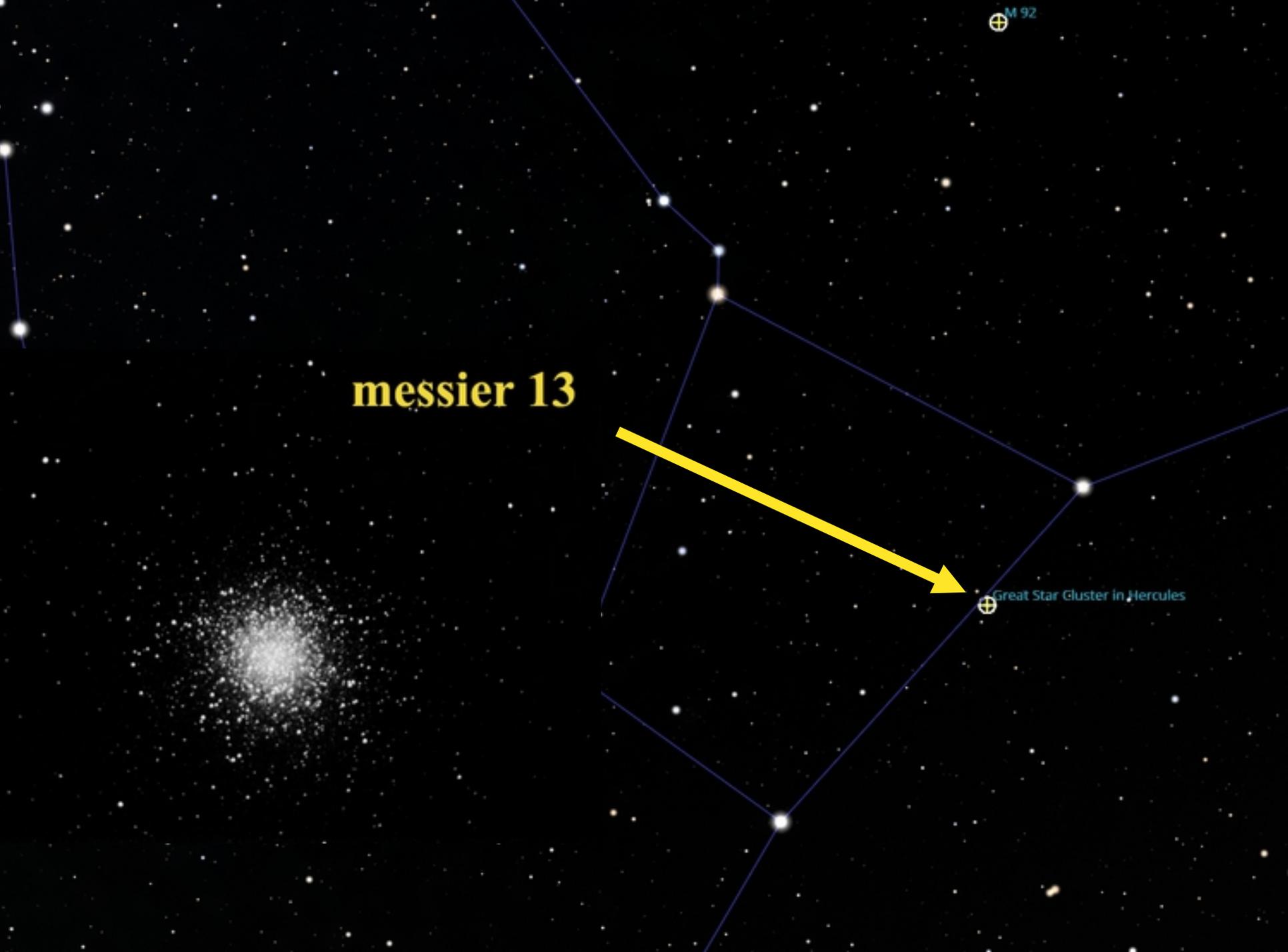
# Les amas globulaires



**messier 13**

M 92

Great Star Cluster in Hercules





47 Tucan  
13,06 Gyr



Messier 92  
13,02 Gyr

# Historique

Première découverte (M22) en 1665 par **Abraham Ihle**  
**Charles Messier** l'inscrit dans son catalogue en 1764 (nébuleuse sans étoiles)

**William Herschel** sépare les étoiles de plusieurs amas. Il leur donne le nom d'amas globulaire

En 1866 **William Huggins réalise** le spectre de M 13

**Harlow Shapley** 1918 L'étude des étoiles variables (céphéides) lui permet de calculer les distances des amas. Il en déduit la position du Soleil dans la galaxie, et celle des amas dans l'environnement de la voie lactée.

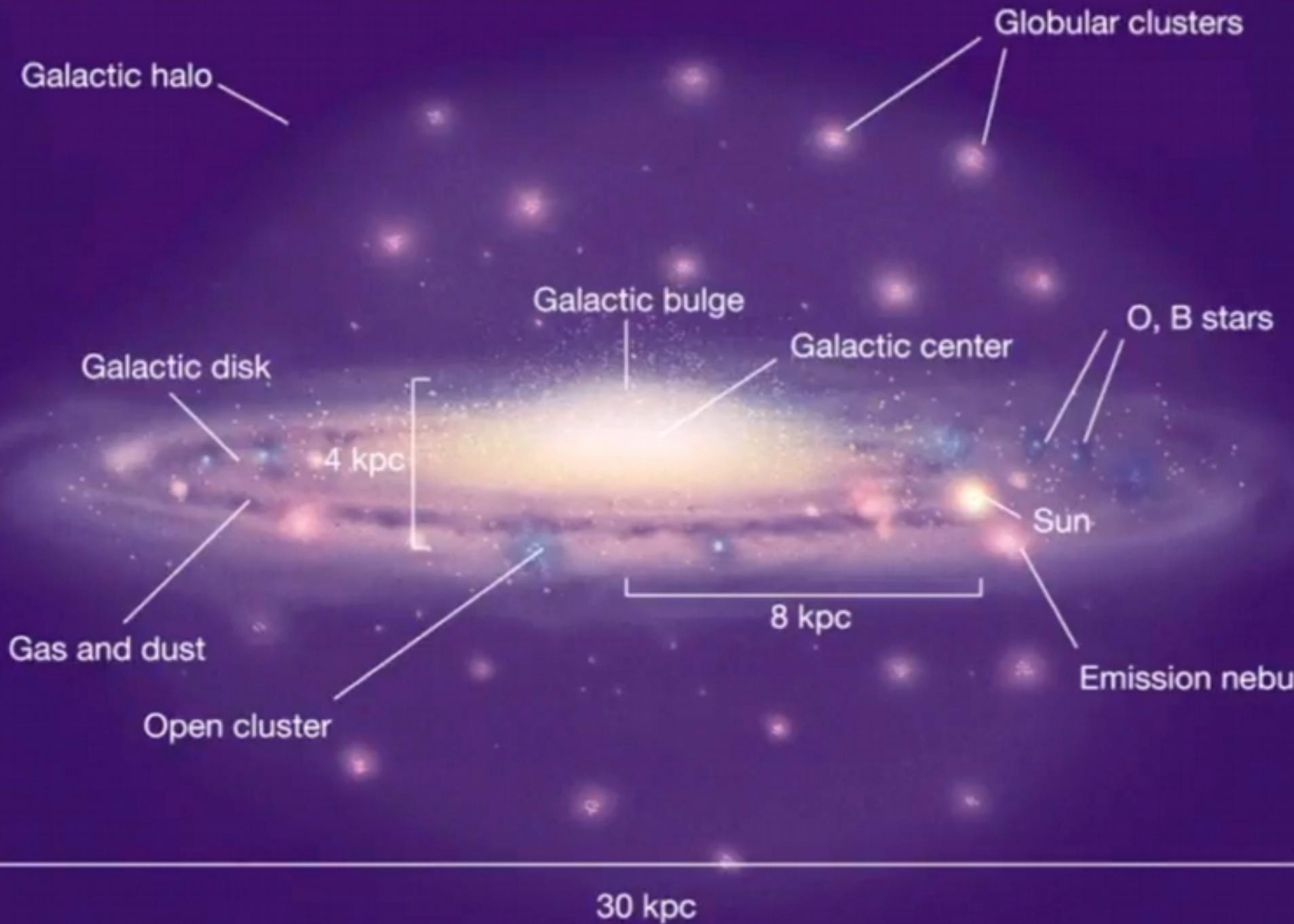
## C'est quoi un amas globulaire ?

Regroupement d'une grande quantité d'étoiles, liées gravitationnellement dans une structure sensiblement sphérique.

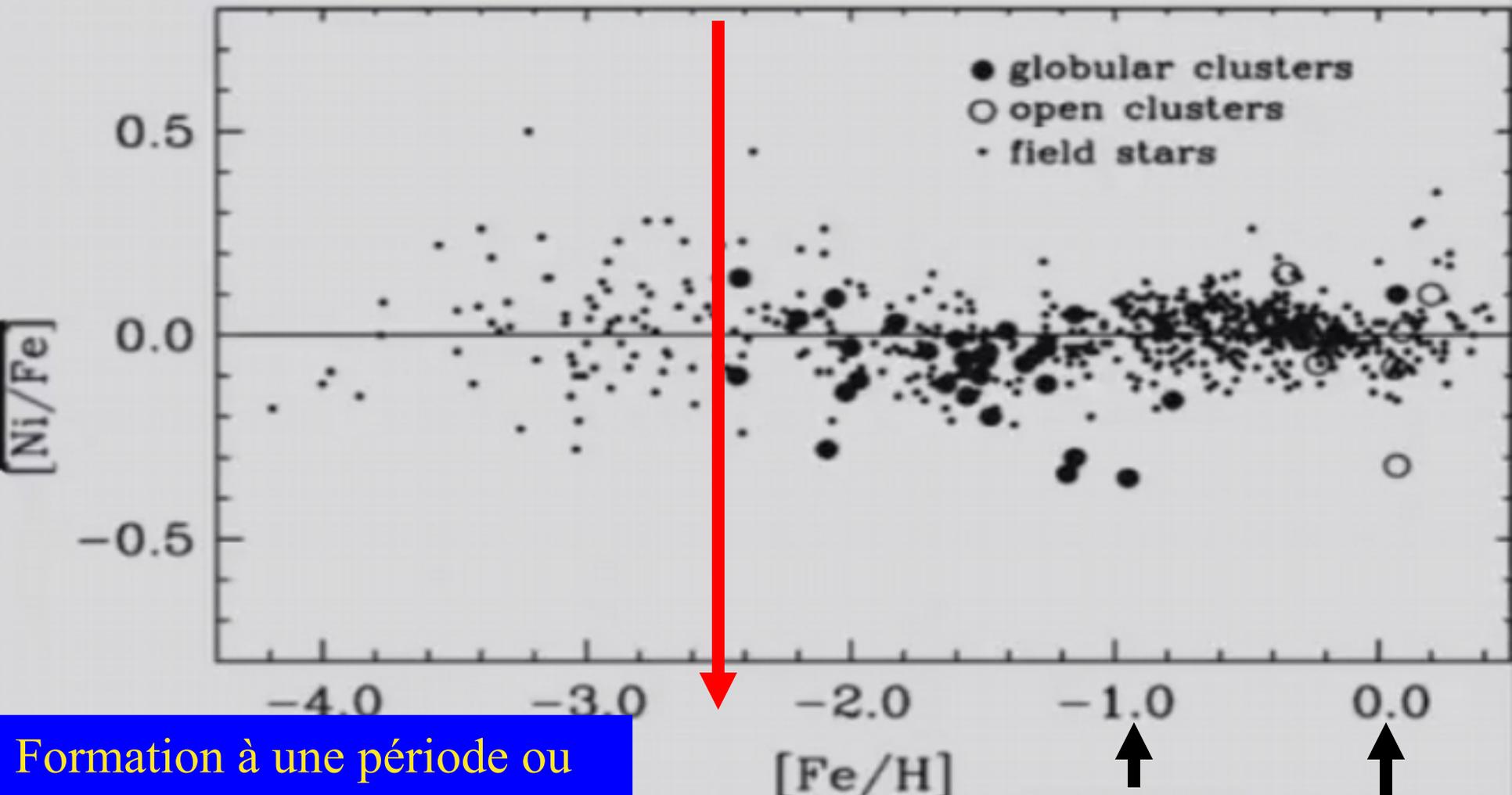
10 000 à 1 million d'étoiles dans un volume de 10 à 100 années lumières (densité de 100 étoiles /al<sup>3</sup> au voisinage du soleil elle est de 0,01 étoiles/al<sup>3</sup>)

La plupart des amas globulaires sont très anciens et se sont probablement formés en même temps que leur galaxie hôte

On estime leur nombre à environ 150 à 200 dans la Galaxie.



# Composition chimique des A.G. en métaux lourds fer, et éléments du pic du fer ( Ni, Cu, Mn)



Formation à une période où la galaxie était déjà enrichie en métaux.

○/10

○

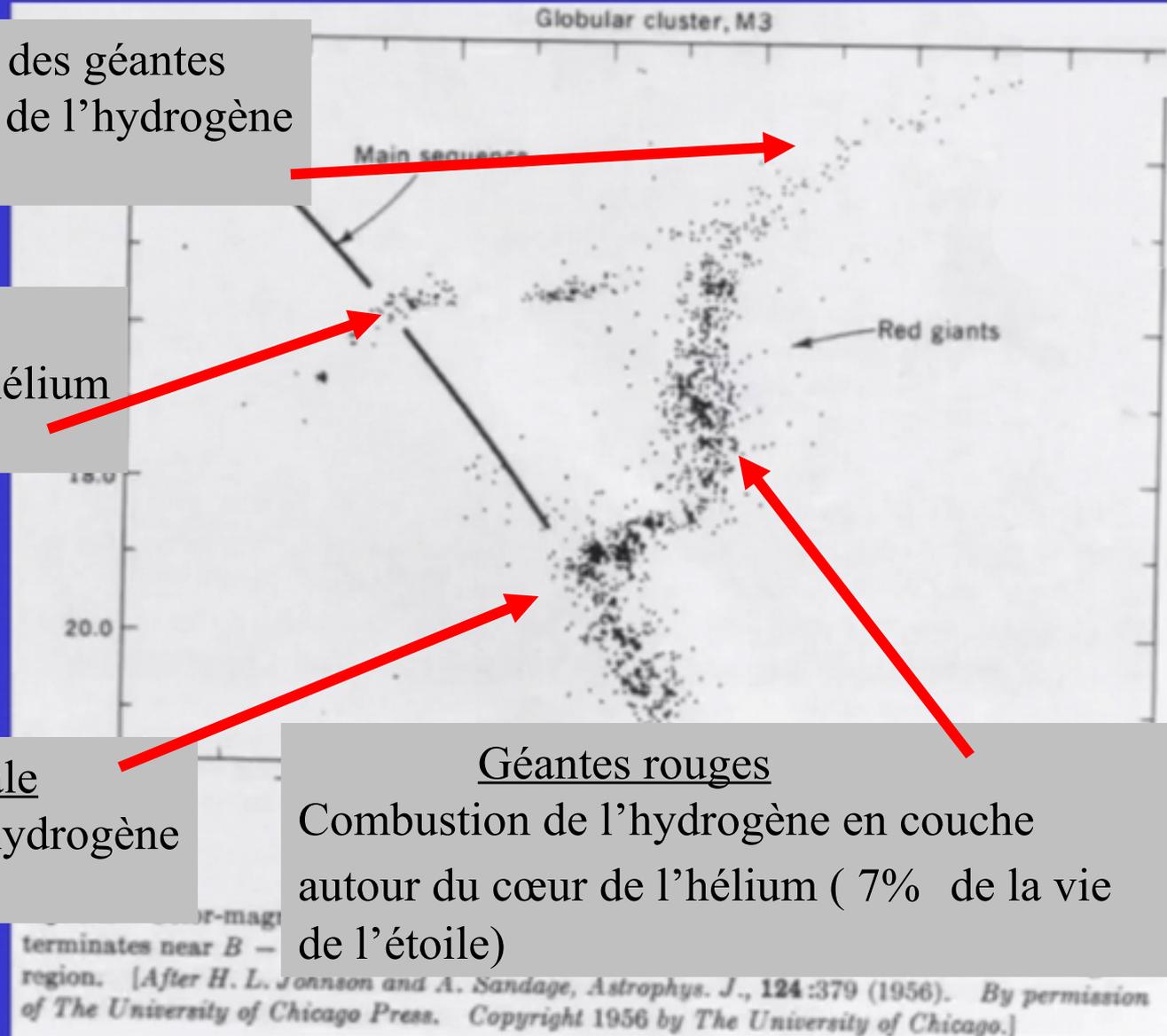
# L'âge des amas globulaires: Le diagramme Hertzsprung-Russel (couleur magnitude)

Branche asymptotique des géantes  
Combustion de l'hélium et de l'hydrogène  
en couche (0,05%)

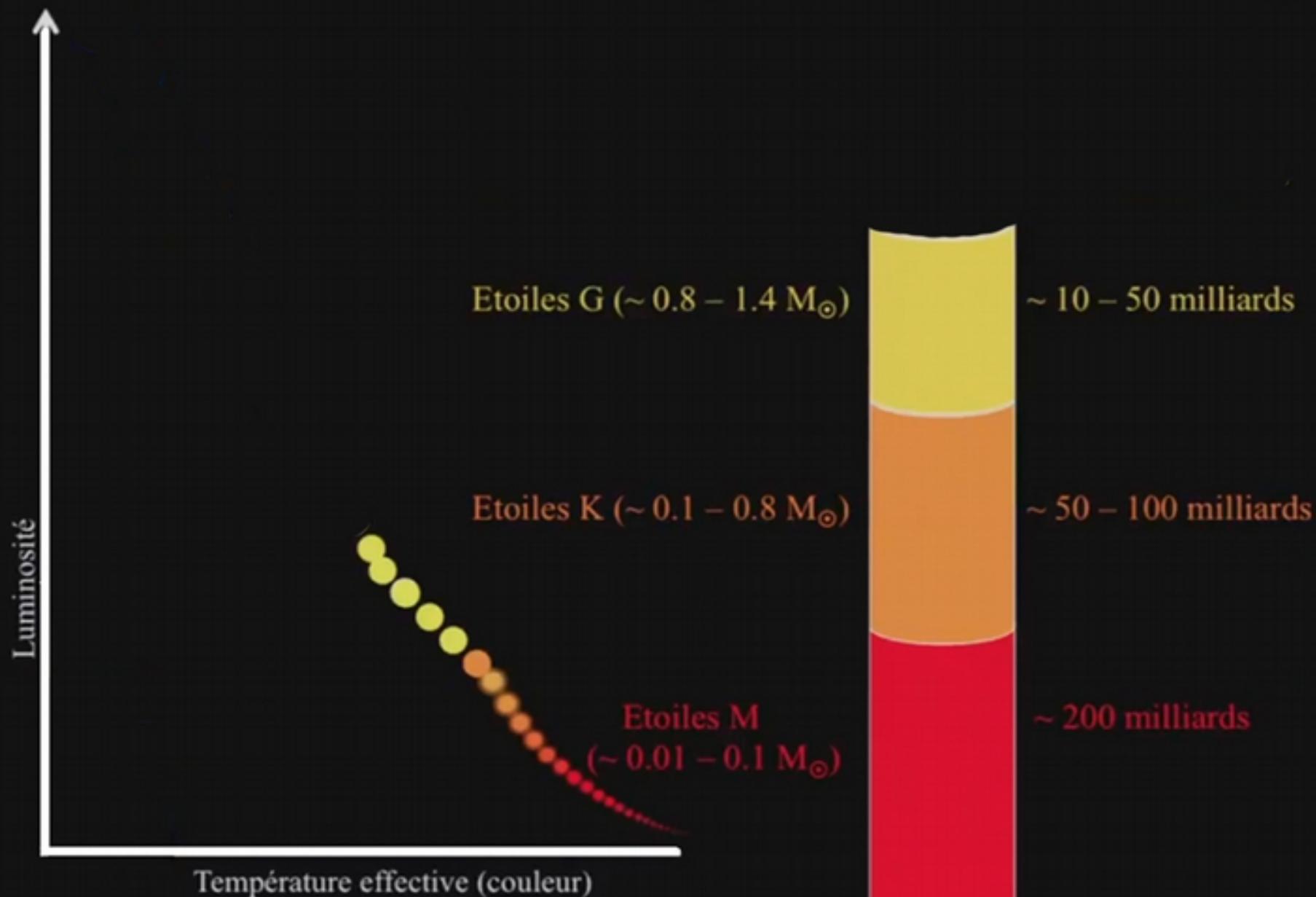
Branche horizontale  
Combustion centrale de l'hélium  
(2% de la vie de l'étoile)

Séquence principale  
Combustion centrale de l'hydrogène  
(90% de la vie de l'étoile)

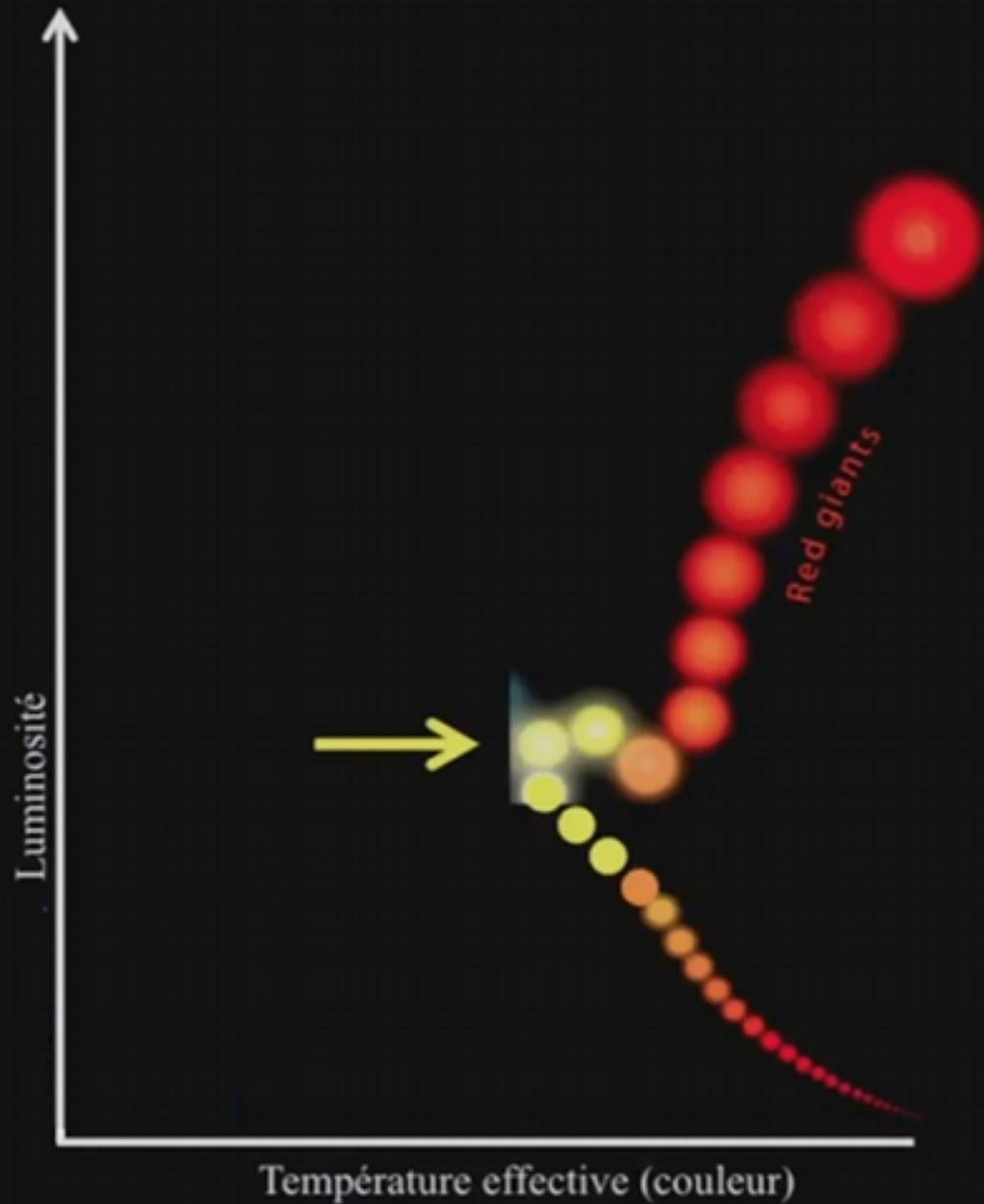
Géantes rouges  
Combustion de l'hydrogène en couche  
autour du cœur de l'hélium ( 7% de la vie  
de l'étoile)



# Masse et temps de vie des étoiles sur la séquence principale



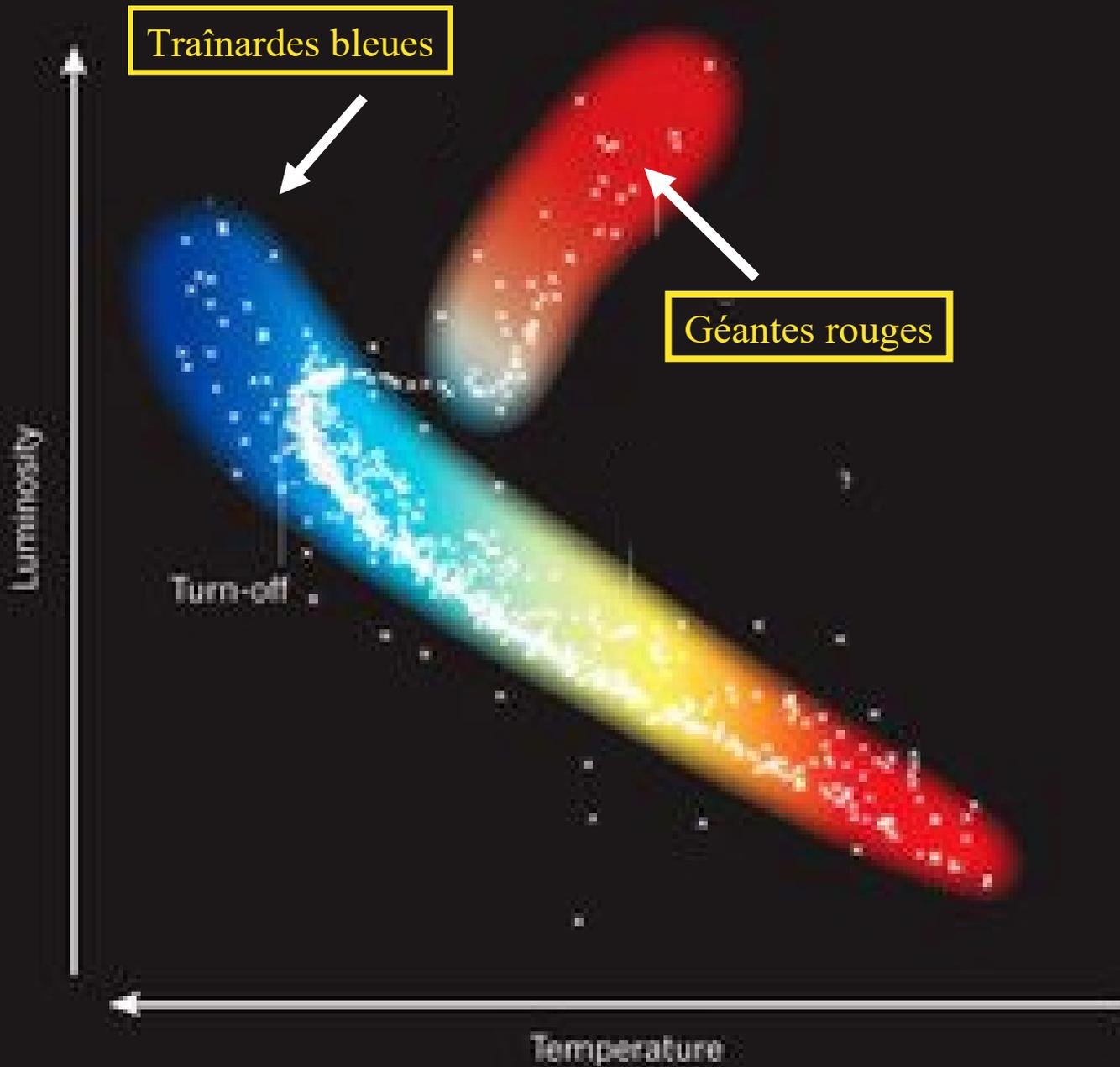
# Age des amas globulaires



$\sim 0.8 - 0.85 M_{\odot}$   
 $\sim 11 - 13.5 \text{ Gyr}$



Messier 92  
13,2 Gyr



## Amas globulaires - début des années 2000

Amas d'étoiles très massifs (10 000 à 1 million d'étoiles dans un volume de 10 à 100 années lumières ) liés gravitationnellement, dans une structure sphérique.

Formation dans un temps très court au début de l'évolution de la galaxie, d'un même nuage ( > 10 milliards d'années)

Étoiles de faible masse, très anciennes et de la même composition chimique ( même métallicité).

Un bon terrain d'étude des étoiles

# Années 2000

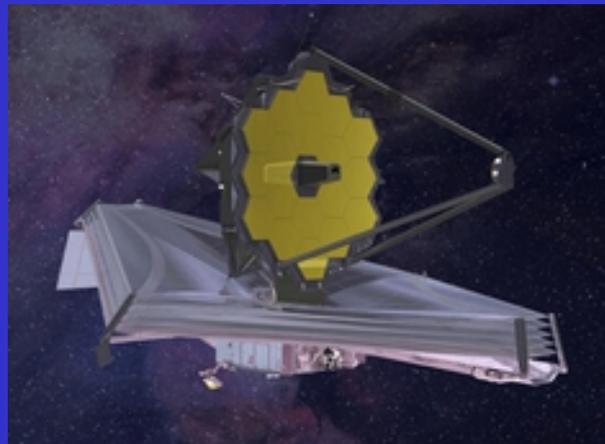
Un cadre quasi idéal, bousculé par l'arrivée des grands télescopes et de spectromètres plus performants



**VLT (ESO)**



**Hubble S.T.**



**J.W.T**

# Une vision nouvelle de l'évolution des amas globulaires

Analyse chimique plus fine autres que le Fe ou Ni  
(Na, O, Al, Mg ..)

Composition chimique très variée selon les étoiles  
d'un même amas globulaire ( répartition Na, O: abondance  
en sodium par rapport à l'abondance en O ) variabilité très  
importante des éléments chimiques

# Résultats des analyses spectrométriques des étoiles d'un amas globulaire

1er génération

Deux groupes d'étoiles

Étoiles « normales » de même composition que les étoiles du halo riches en O pauvres en Na (30% +/- 7)

Étoiles « anormales » pauvres en O riches en Na 70% +/- 7

2ème génération

Anticorrelation O – Na

On définit les amas globulaires comme des amas  
qui présente cette anticorrélation

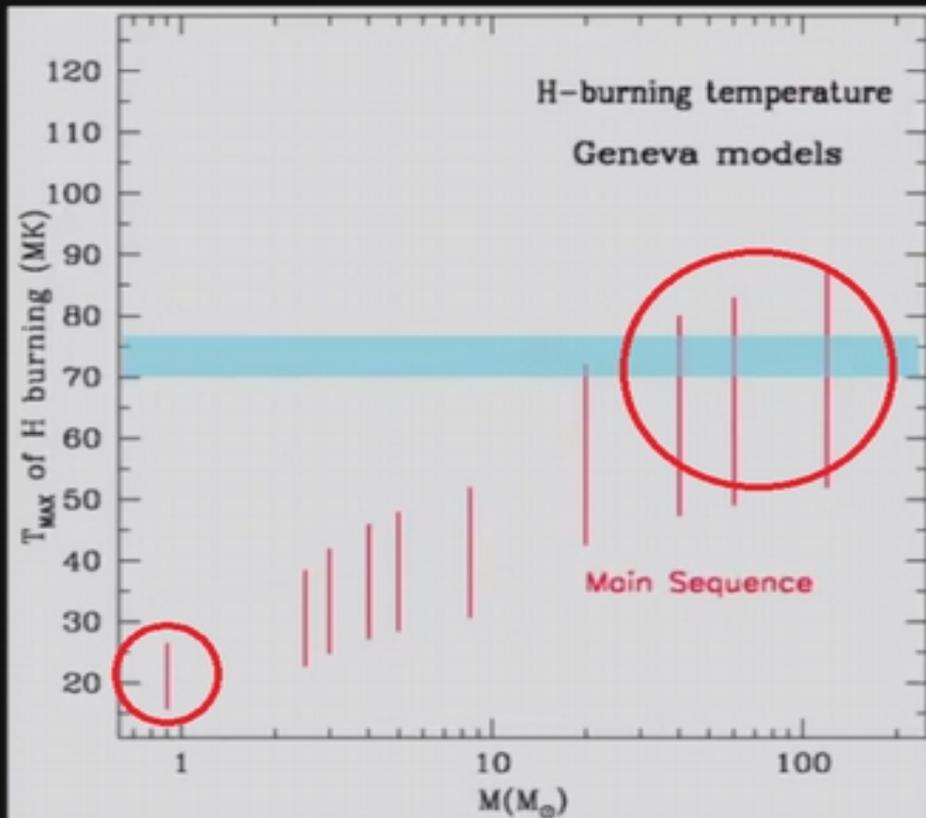
## Qu'est ce que ça veut dire ???

Les éléments chimiques présents se forment par nucléosynthèse au cœur des étoiles.

- Lors des super novæ
- Au cours de l'évolution des étoiles

Pour produire du Na et détruire de l'O, il faut une combustion de l'H à très haute température de 72 à 80 MK , qui ne peut se faire que dans des étoiles très massives.

Les étoiles ( $\text{Na} > \text{O}$ ) sont nées avec ces proportions chimiques



Prantzos, Charbonnel & Iliadis (07)

Le gaz qui leur a donné naissance a pour origine des étoiles massives de l'amas.

Température de combustion (MK) au cœur des étoiles en fonction de la masse (masse solaire)

Formation de la Galaxie  $> 13$  Gyr

Formation de l'amas à partir du Gaz

Première génération d'étoiles

Pollution de l'amas par des étoiles massives

Première génération d'étoiles  
30%

Deuxième génération d'étoiles  
70%

Amas globulaire

Lorsque se forme un amas d'étoiles à partir d'un nuage de gaz Il se forme davantage d'étoiles de petites masses que d'étoiles massives



Pour 1000 étoiles de 1 MS, il se formera

50 étoiles de 10 MS

2 étoiles de 100 MS

2 étoiles 100 MS => 1 étoile de 2<sup>ème</sup> G. pour 9 étoiles de 1<sup>er</sup> G.



Problème

Dans les AG 7 étoiles de 2<sup>ème</sup> G. pour 3 étoiles de 1<sup>er</sup> G.

# Hypothèses

1<sup>er</sup> - Masse initiale différente des étoiles massives  
(non conforme aux données des observations)

2<sup>ème</sup> - Perte de 90 % masse  
des étoiles de 1<sup>er</sup> G par un  
certain processus rapide et  
violent.

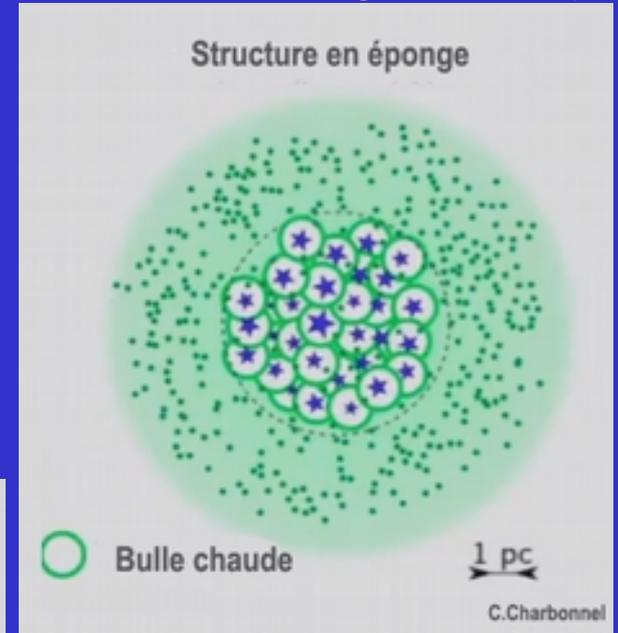
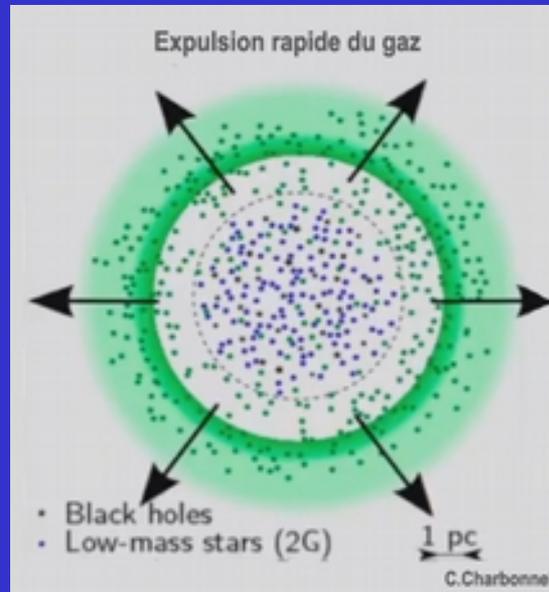
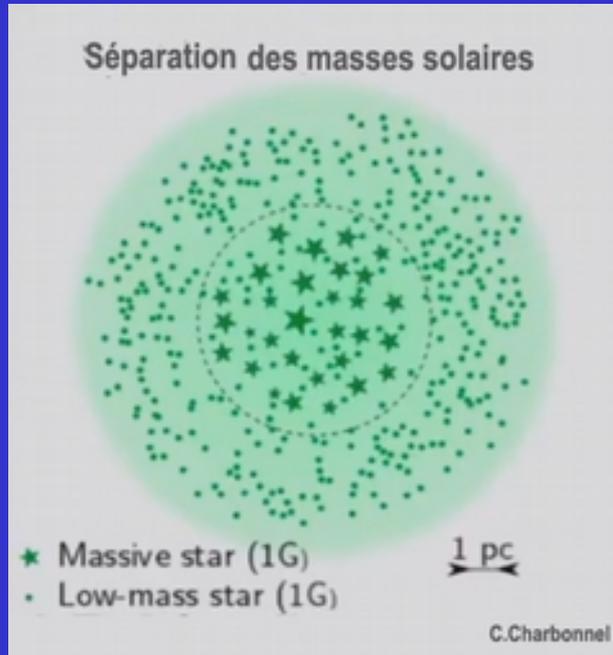
La masse initiale  
des amas doit être  
10 à 30 fois la  
masse actuelle

6 à 20 % de la masse  
éjectée doit se retrouver  
dans le halo galactique

# Scénario 2<sup>ème</sup> hypothèse

Concentration d'étoiles. Les plus massives au centre

Rayonnement des étoiles  
Massives => bulles de gaz ionisé (H2)



Éjection de la matière  
produite, dans  
l'espace environnant  
du halo galactique

Fin des étoiles massives  
en SN => centre devient  
instable et chaotique

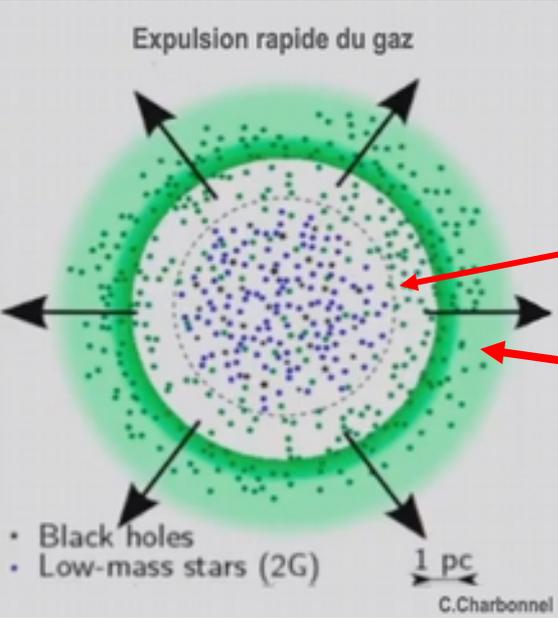
Étoiles de 2<sup>ème</sup> G au centre

Étoiles de 1<sup>er</sup> G en périphérie

Pression centrale > Pression gravitationnelle périphérique

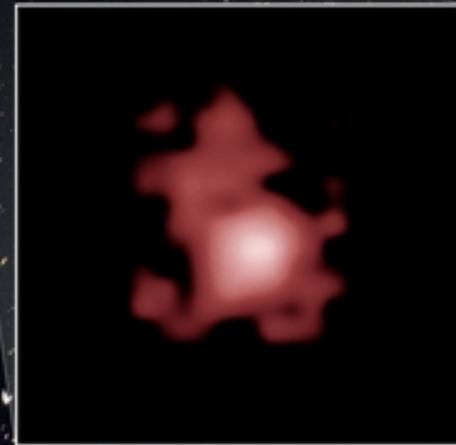
Expulsion de la matière périphérique et de la majorité des  
Étoiles de 1<sup>er</sup> G

Amas globulaire



Galaxie GN-Z11: 13,4 GY

L'analyse spectrale du JWST révèle de fortes proportions d'N témoins de la combustion d'hydrogène à une forte  $T^{\circ}$  et une forte densité stellaire





Ref: Corinne CHARBONNEL

<https://www.youtube.com/watch?v=hkqKIPg0UTo&t=16s>

Fabrice MARTINS |

L'Astronomie N° 117 / JUIN 2018