

**Notre galaxie**

# Fiche d'identité de notre galaxie, la Voie Lactée

Type: spirale barrée

Contenu: 200-400 milliards d'étoiles + poussières et gaz (~5%)

Diamètre: ~ 100-150 kAL

Rotation: différentielle

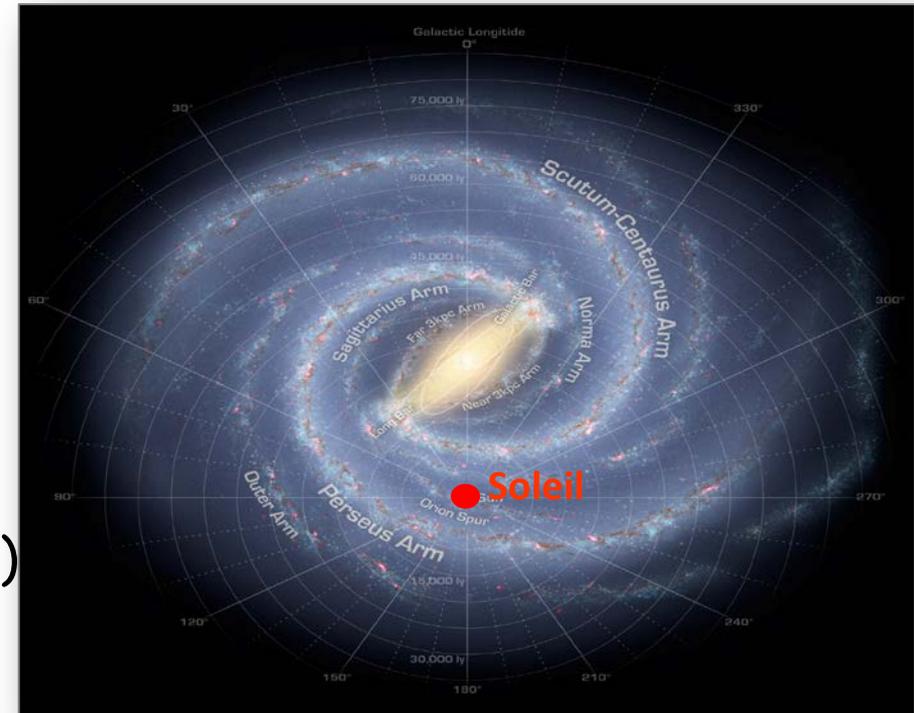
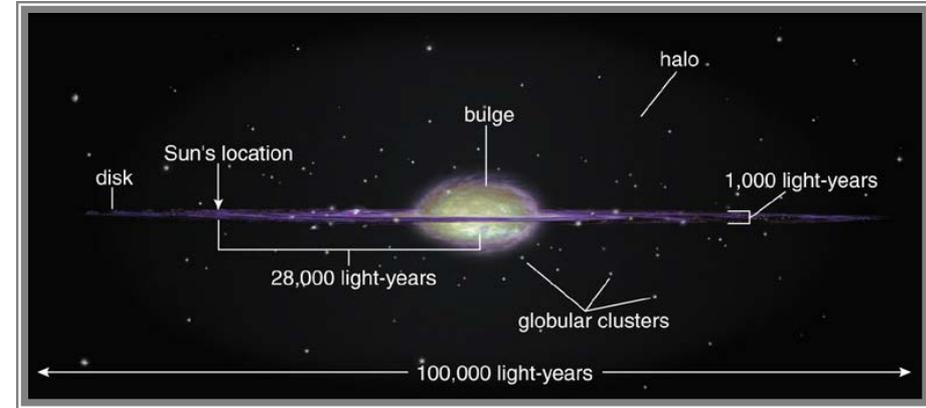
Le Soleil: situé à 24-28 kAL

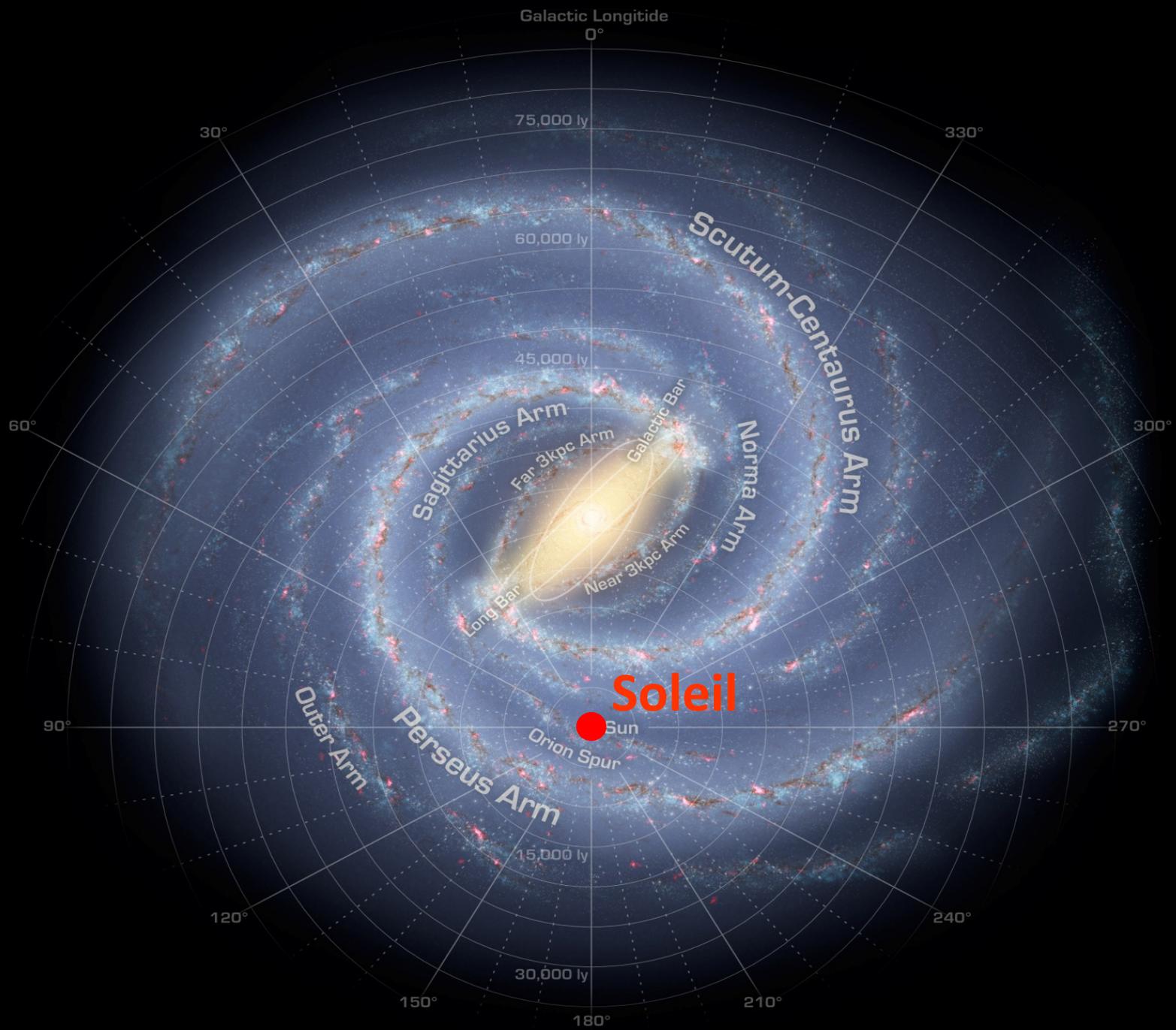
(7.4 - 8.7 kpc) du centre galactique, période ~ 220 10<sup>6</sup> ans

(il a déjà fait ~ 20 tours)

## 3 parties :

- Bulbe galactique (au centre)
- Disque galactique (+ bras spiraux)
- Halo galactique (+ amas globulaires)







# 1) Le bulbe galactique

- 5% de la masse visible de la VL
- Composé d'étoiles vieilles (Pop II)
- Très peu de gaz interstellaire

## Centre galactique

- Source radio : Sagittarius A\*
- Zone densément peuplée d'étoiles
- Orbites elliptique autour d'un point central :
  - ➔ Présence d'une masse très concentrée au centre
  - ➔ Meilleur candidat:

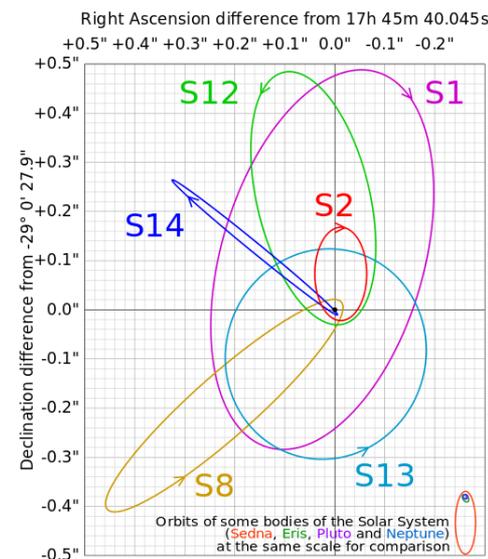
**Trou noir** de  $\sim 4 - 4.6 \times 10^6 M_{\odot}$  ← 3<sup>ème</sup> loi de Kepler

<http://www.galacticcenter.astro.ucla.edu/animations.html>

Centre de notre galaxie dans la direction du Sagittaire



Orbites d'étoiles autour du trou noir

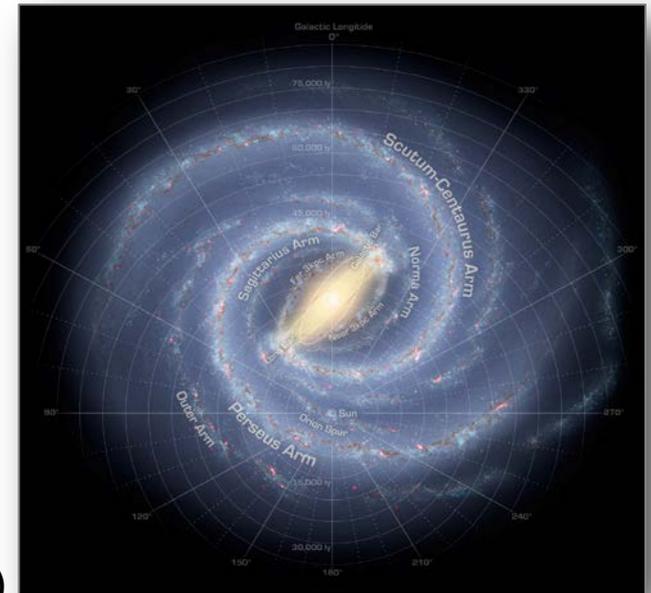


## 2) Le disque galactique

Structure plate

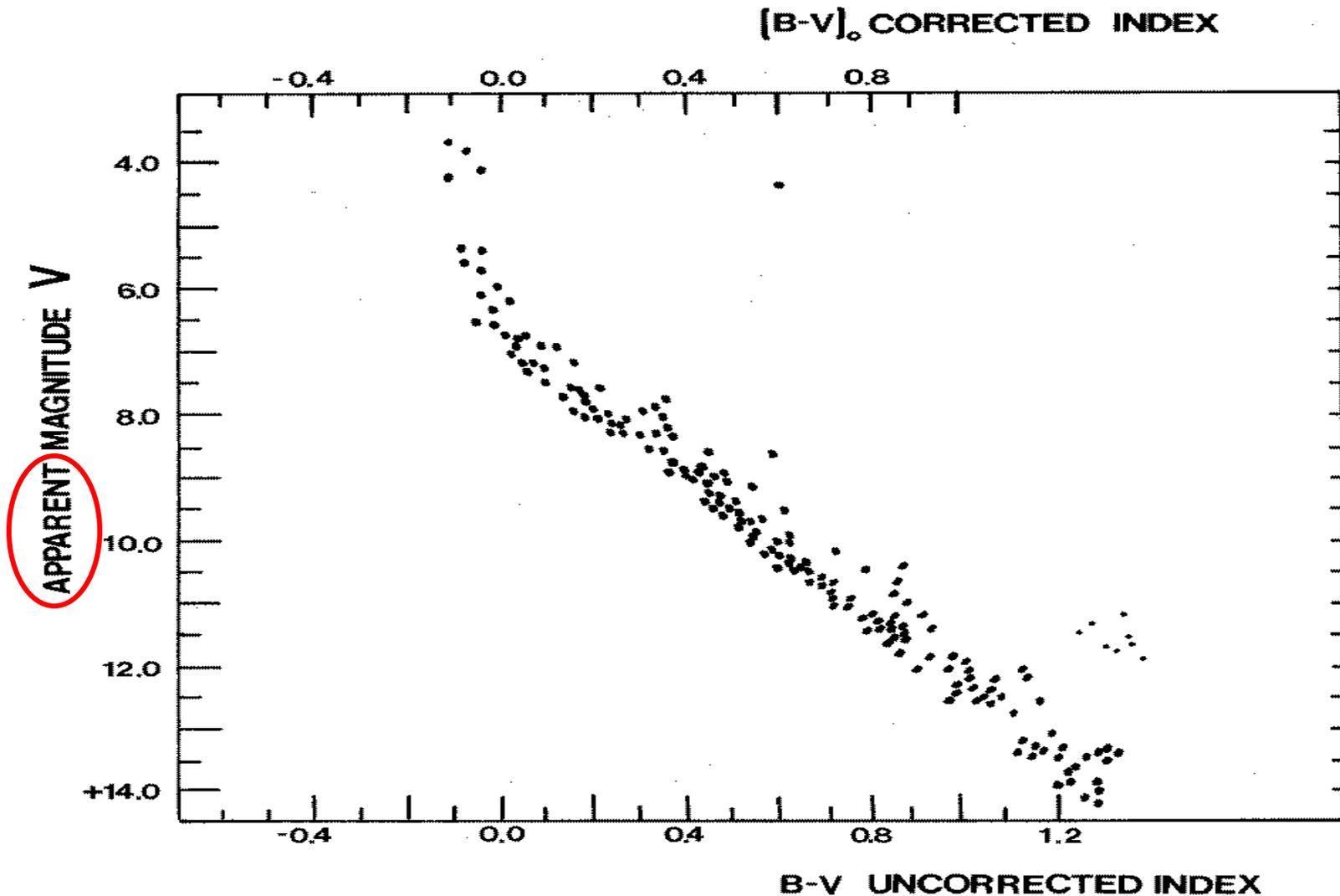
### Contenu :

- 90 % de la masse visible de notre galaxie
- **Etoiles jeunes** (population I)
- **Nuages interstellaires** ( $\sim 5 \times 10^9 M_{\odot}$ ,  $3 < d_c < 8$  kpc)
  - ➔ Pouponnières de nouvelles étoiles
- **Amas ouverts** : groupes d'étoiles (100-1000)  
formées à partir du même nuage.
  - ➔ même âge, comp. chimique, distance
  - ➔ Détermination possible de leur âge et leur distance



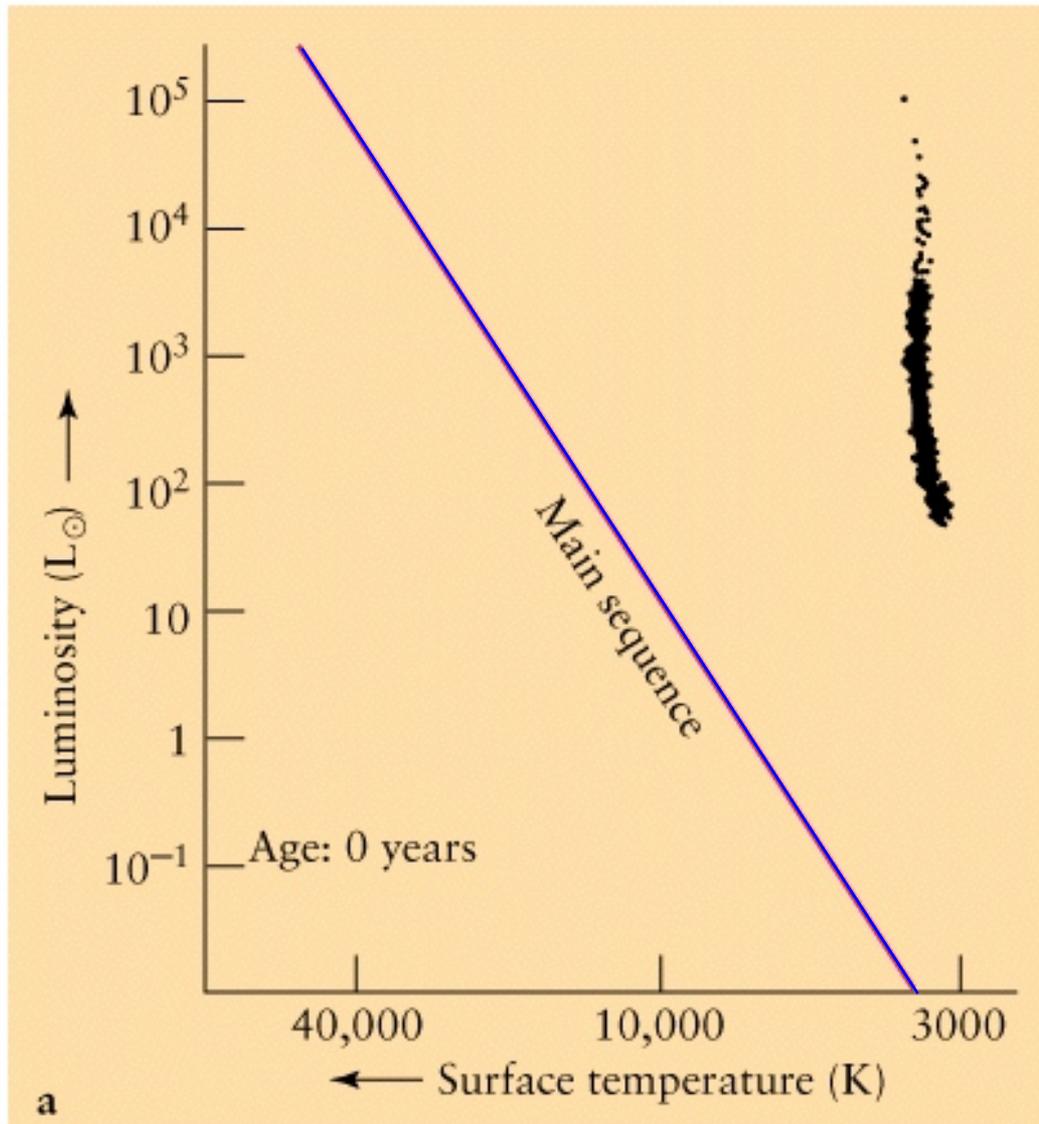
# Datation et distance des amas

M45 (Pleiades)



# Simulation d'amas

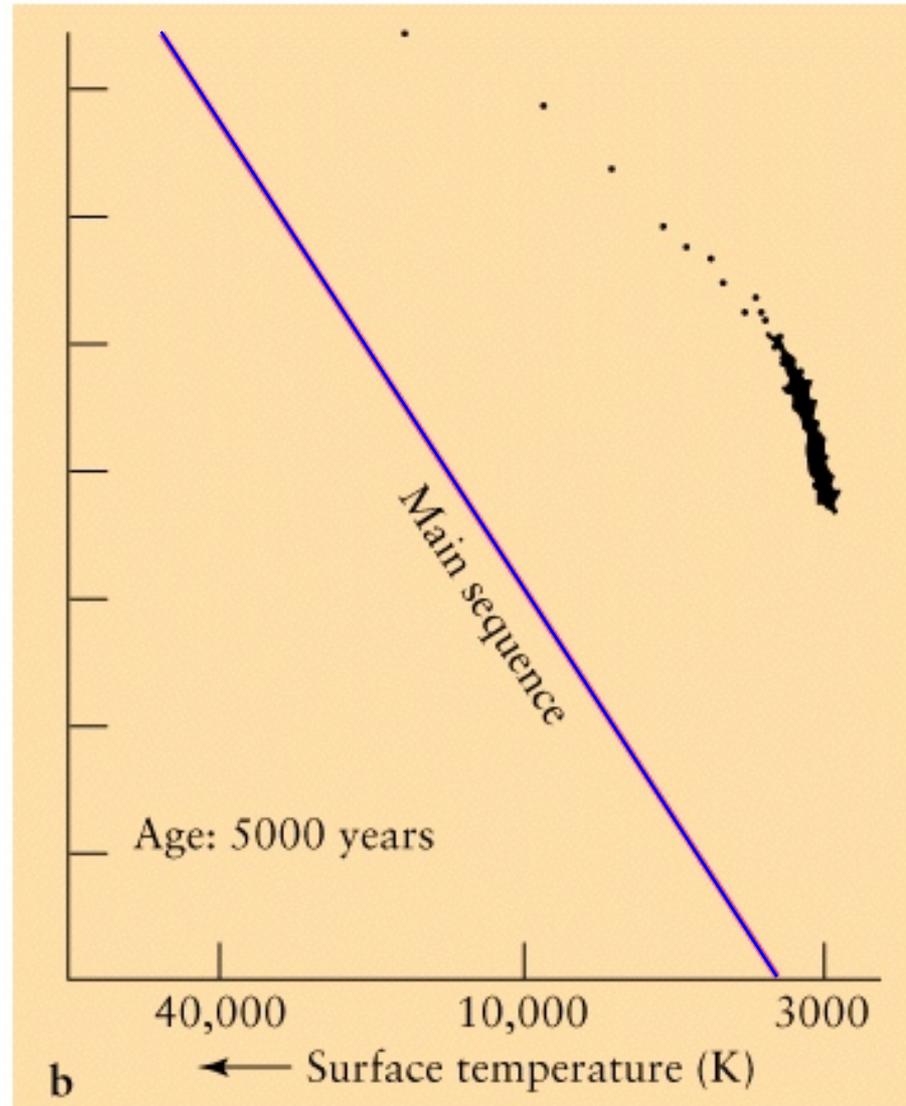
## Calcul d'isochrones théoriques



# Simulation d'amas

## Calcul d'isochrones théoriques

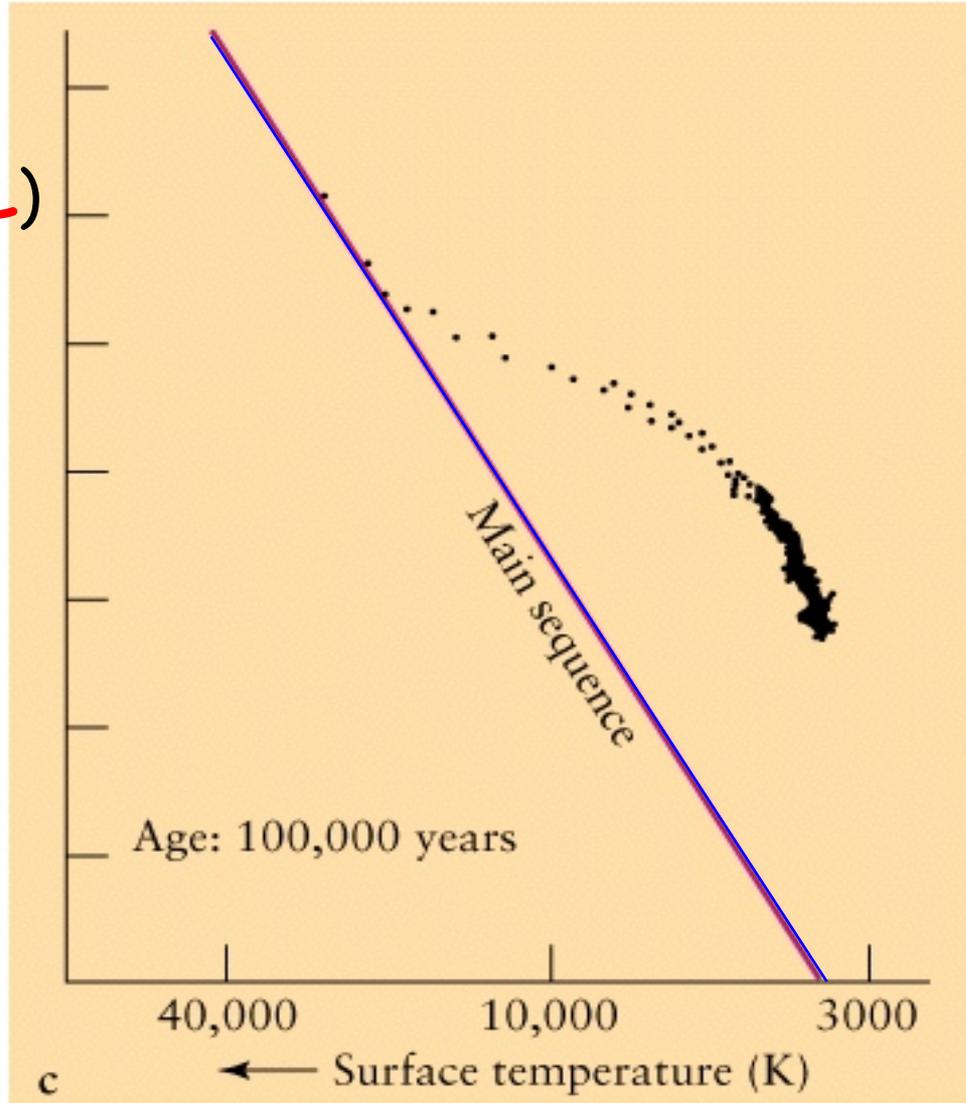
$$t_{HK} = G M^2 / (2RL)$$



# Simulation d'amas

## Calcul d'isochrones théoriques

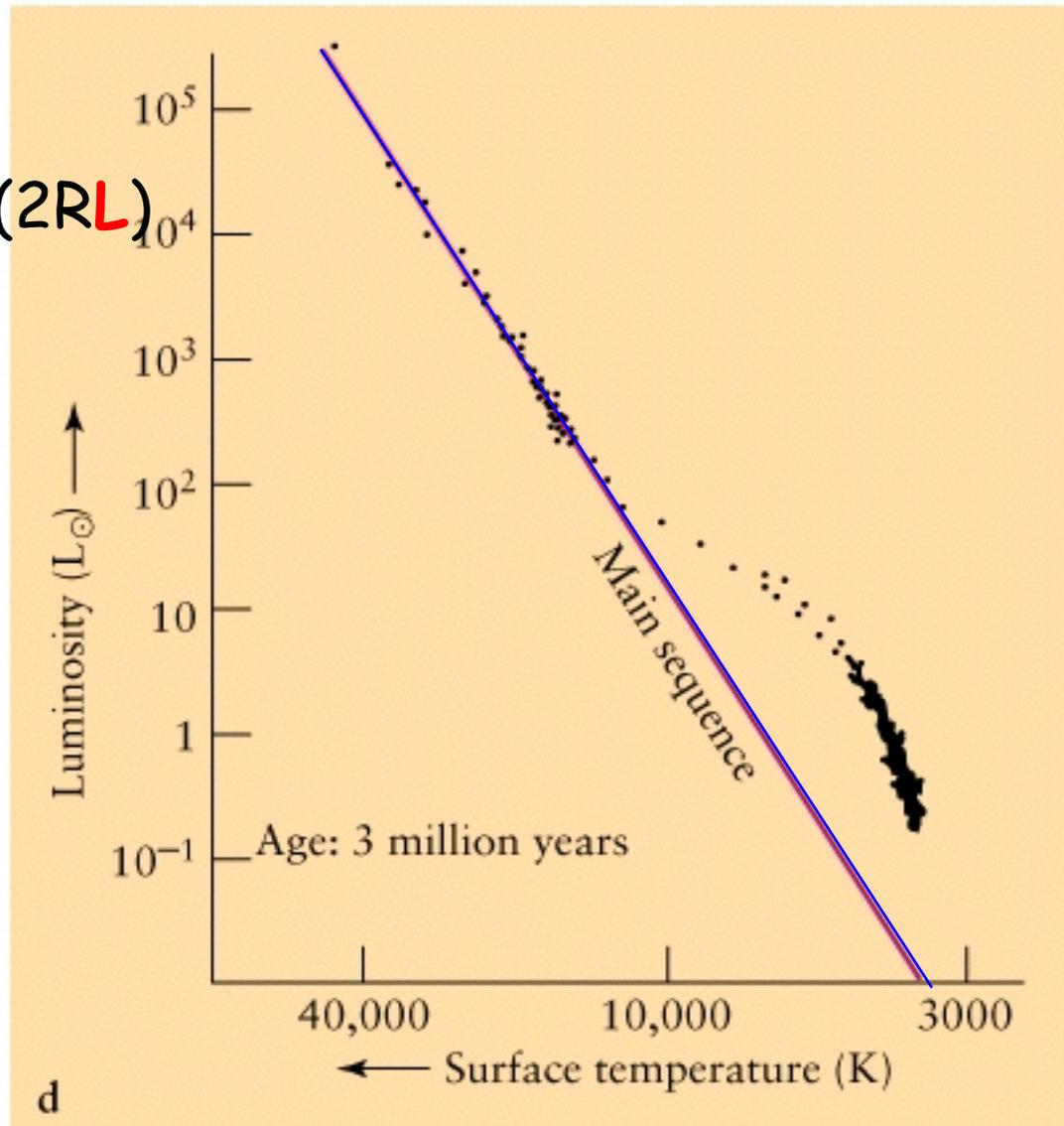
$$t_{HK} = G M^2 / (2RL)$$



# Simulation d'amas

## Calcul d'isochrones théoriques

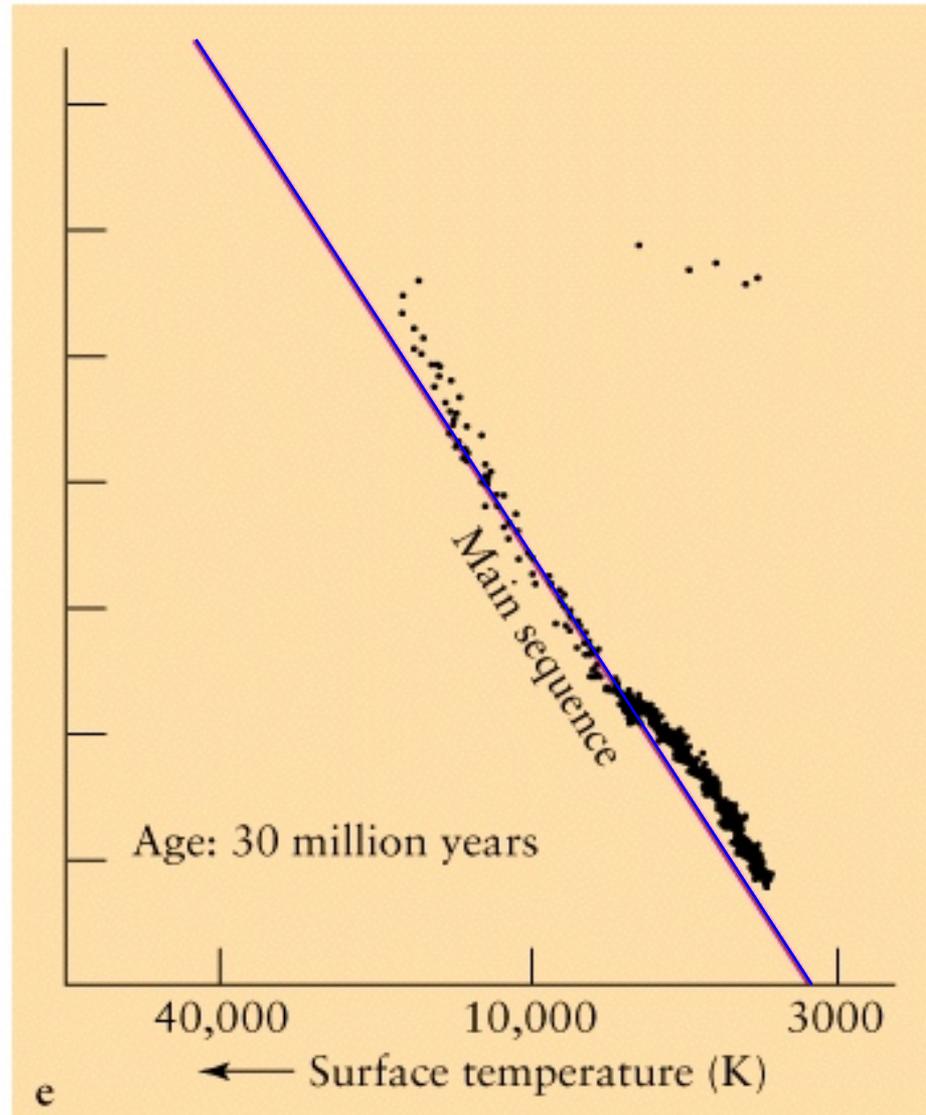
$$t_{\text{HK}} = G M^2 / (2RL)$$



# Simulation d'amas

## Calcul d'isochrones théoriques

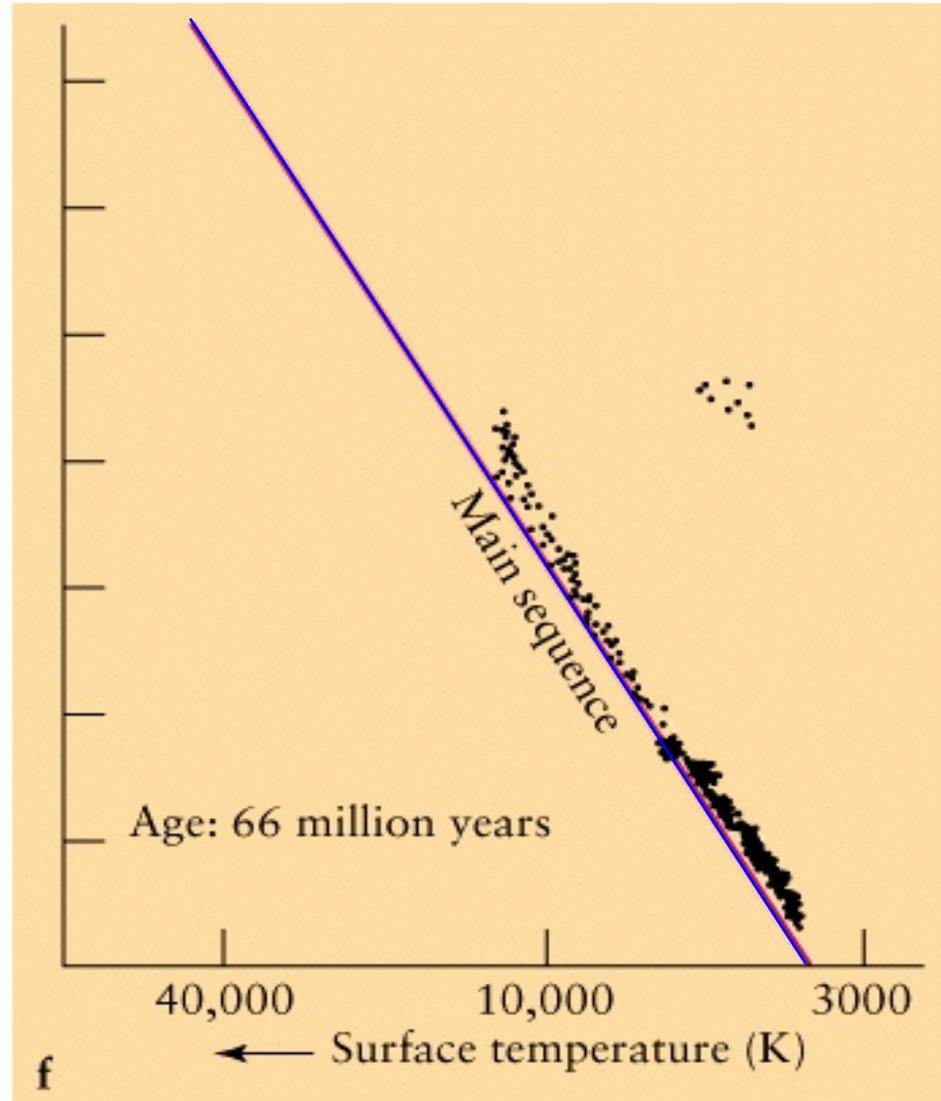
$$t_{\text{nuc}} = E_{\text{pp}} / L$$



# Simulation d'amas

## Calcul d'isochrones théoriques

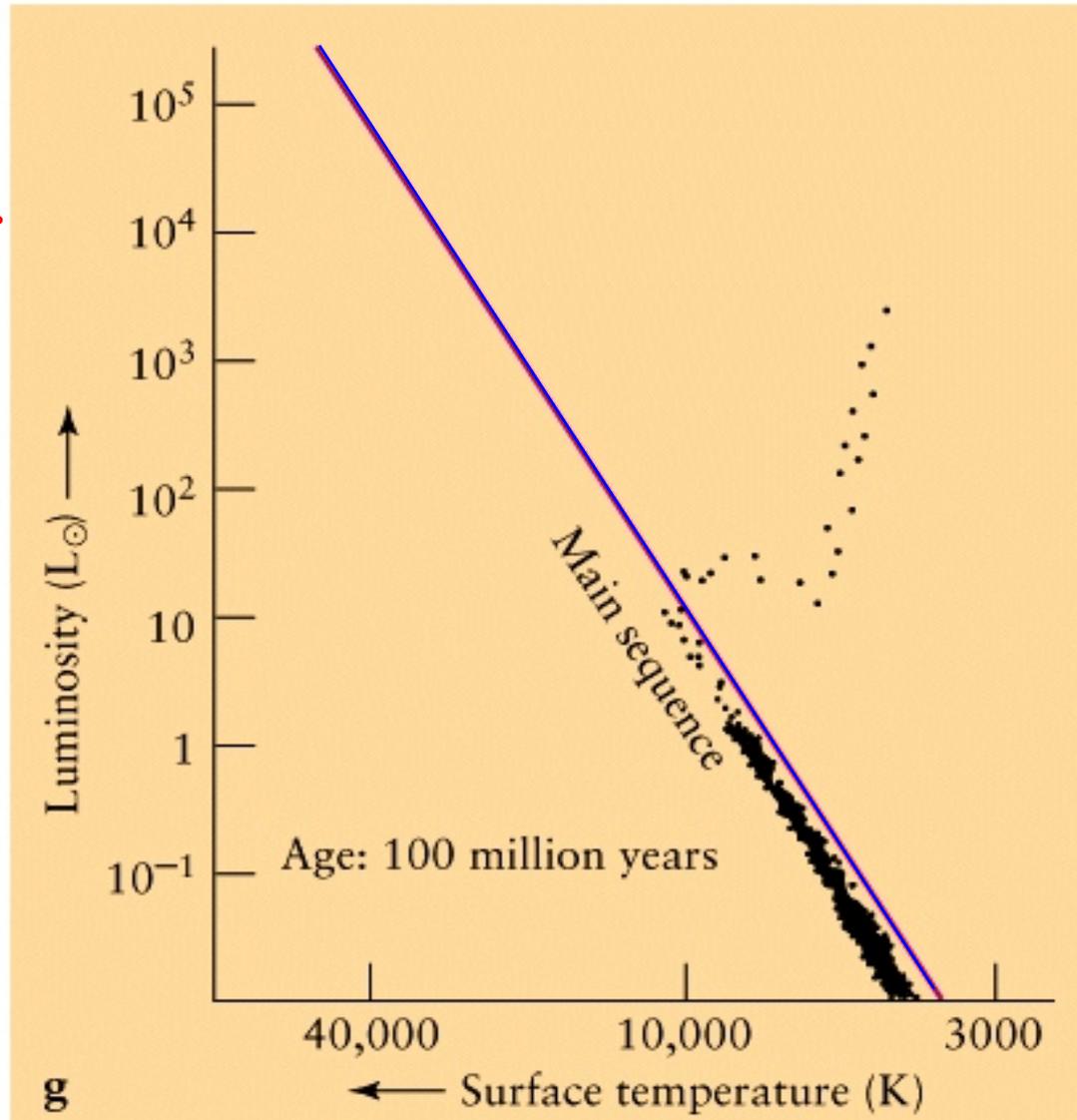
$$t_{\text{nuc}} = E_{\text{pp}} / L$$



# Simulation d'amas

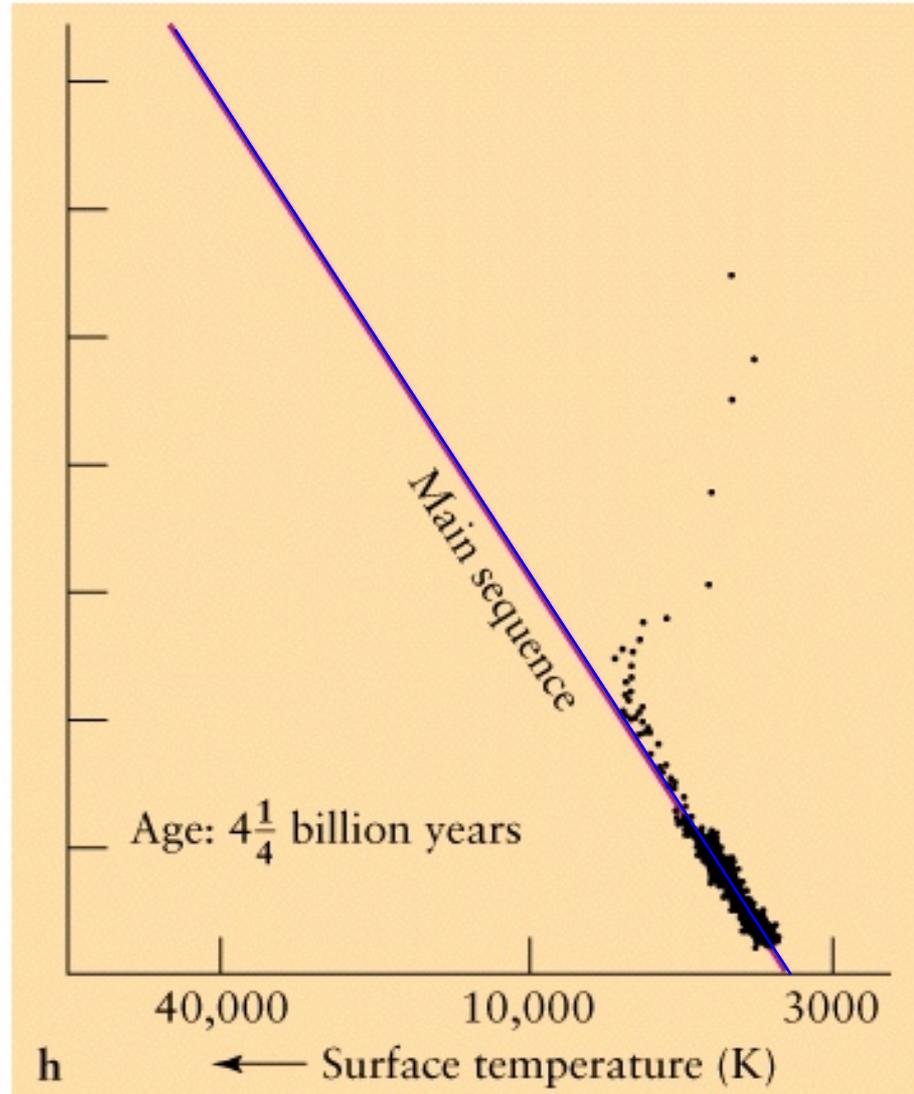
## Calcul d'isochrones théoriques

$$t_{\text{nuc}} = E_{\text{pp}} / L$$

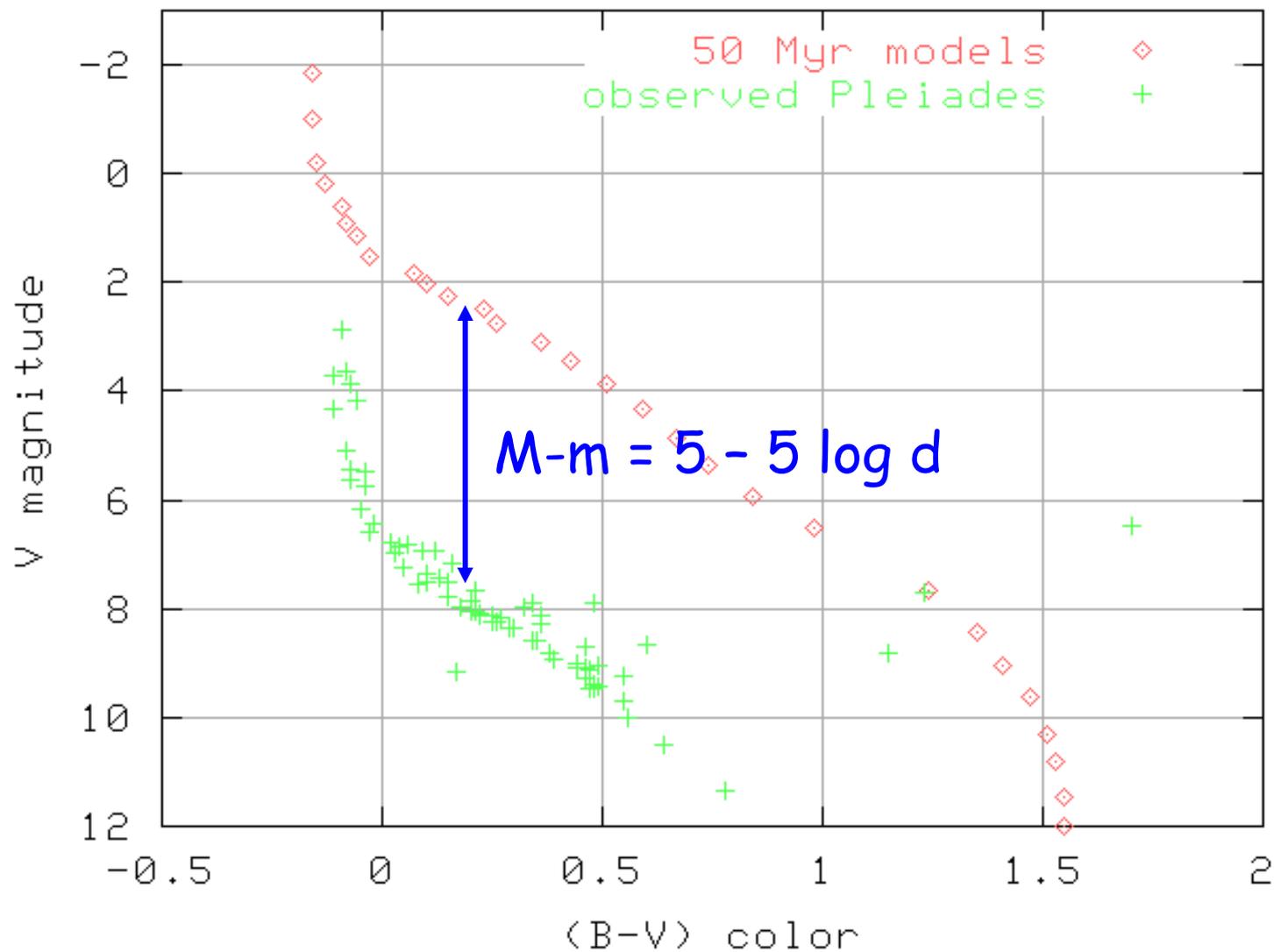


# Simulation d'amas

## Calcul d'isochrones théoriques



# Ajustement Théorie - Observations



## 2) Le disque galactique : Bras spiraux

Quel phénomène est à l'origine des bras spiraux ?

Origine = rotation ? **FAUX** (~ 60 tours)

Bras spiral =

**Onde de densité** (zone de compression) qui se déplace dans le disque, la densité de matière y étant un peu plus élevée que dans le disque.

Par rapport aux bras spiraux, les étoiles et nuages du disque tournent autour du centre et les traversent.

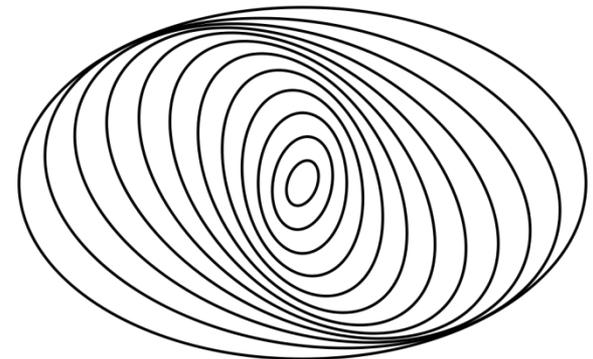
Lors de la traversée : compression du gaz  
→ naissance d'étoiles.

Etoiles O-B car vie courte :  
<  $10^7$  ans < Période de révolution

*Galaxie similaire à la nôtre*



Modèle de Lin et Shu (1964)



### 3) Le halo galactique

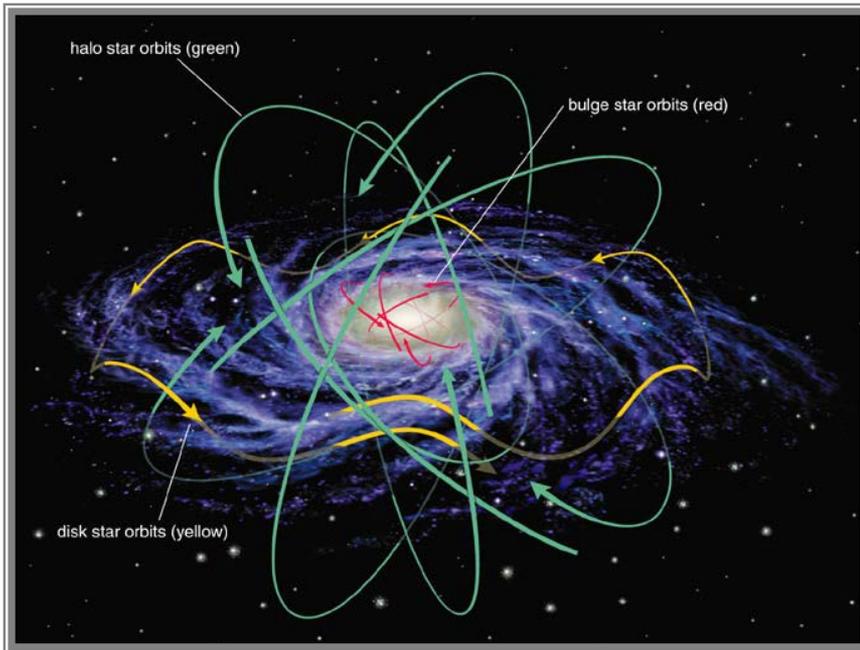
5 % de la masse visible de la galaxie

Plus ou moins sphérique

Composé des étoiles les + vieilles de la Galaxie (Pop II)

Orbites inclinées % plan galactique

Contient également: **amas globulaires** et galaxies naines



*Exemples d'orbites d'étoiles du halo*



*Amas globulaire M80*

# Amas globulaires

Ensemble d'étoiles liées gravitationnellement

Formés tôt dans l'histoire de la VL

Parmi les + vieux objets de l'Univers:

âges  $\sim 12-13 \cdot 10^9$  ans, pop II

Contenu:  $\sim 10^5$  étoiles vieilles

Distribution: sphérique

Taille:  $\sim 100$  AL de diamètre

Quantité:  $\sim 200$

Proportion:

1% des étoiles  
du halo

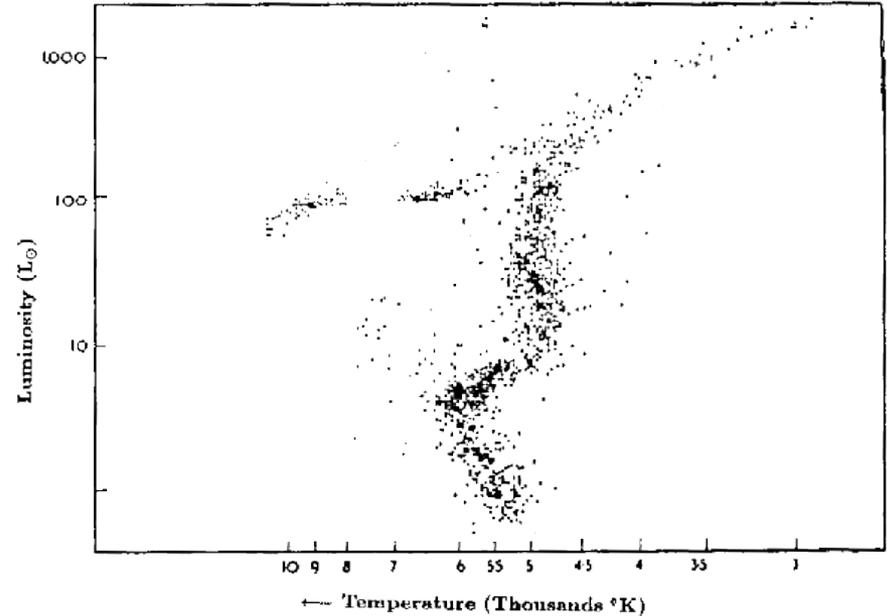


Diagramme HR d'un amas globulaire

Comparaison théorie - observations

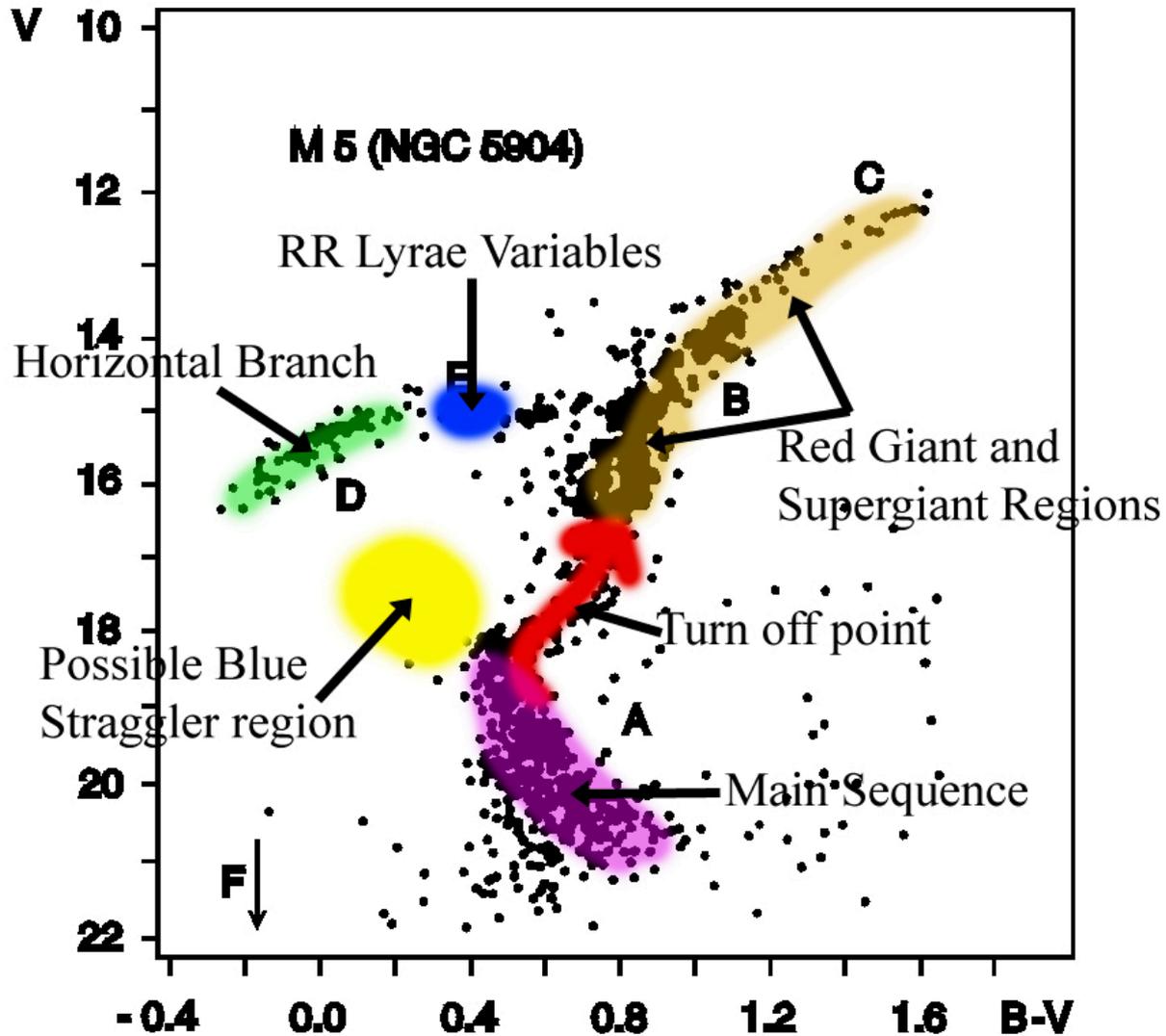


Datation et distance

Excellent accord avec la théorie  
de l'évolution stellaire !!

# Amas globulaires

Adapted from SEDS (<http://www.seds.org>)



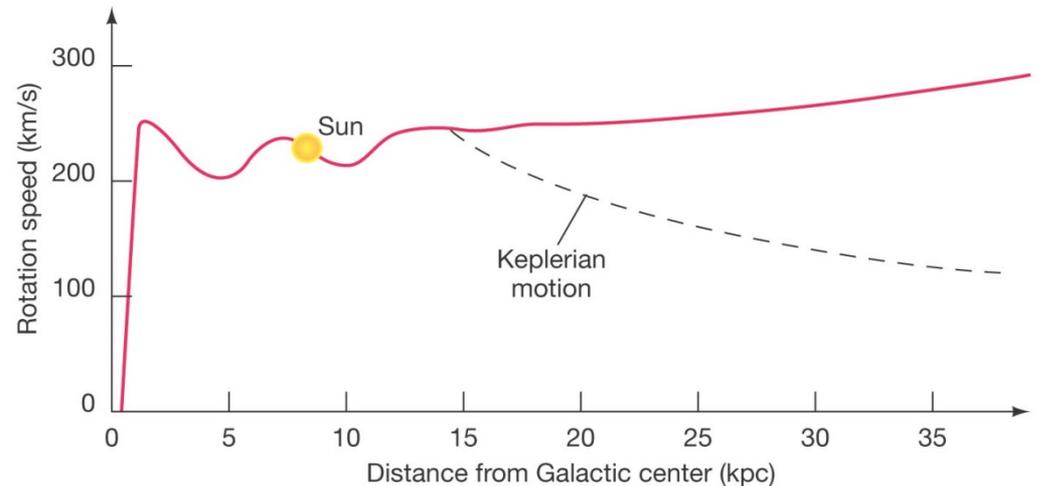
# Le halo de matière sombre

La courbe de rotation de la Voie Lactée est plate (non Képlérienne):

Courbe de vitesses dans la VL

Vitesse Képlérienne :

$$V = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$



➔ Il manque de la matière lumineuse pour en rendre compte

➔ Introduction de la **matière sombre** composée de:

✓ Gaz froid, naines blanches, naines brunes, trous noirs, ... :

MACHOs (MASSive Compact Halo Object) → pas assez nombreux !!!

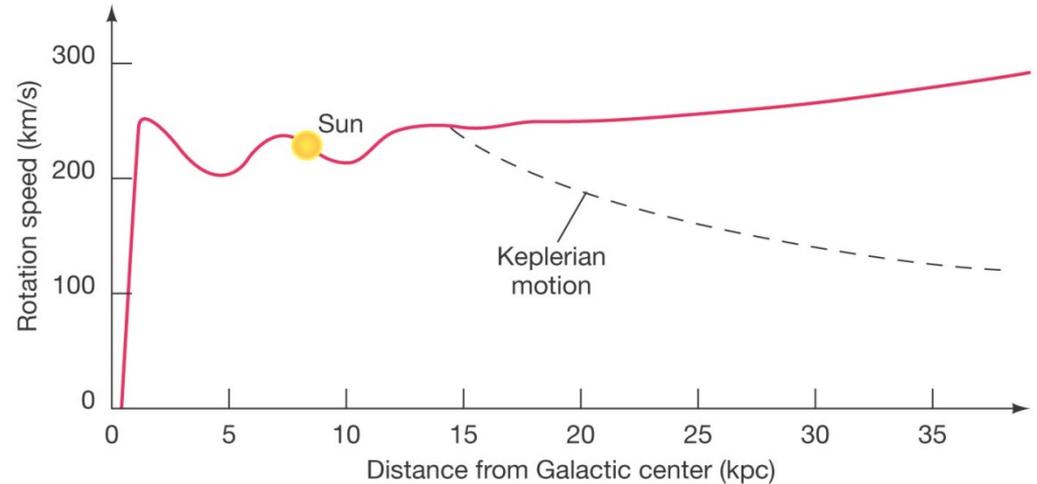
✓ En +: particules exotiques non encore détectées, les WIMPs  
(Weakly Interacting Massive Particle)

Autre possibilité : Termes additionnels dans la théorie de la gravitation ?

Par exemple :  $a = \frac{GM}{r^2} + \frac{\sqrt{GMa_0}}{r}$  ??? (théorie MOND)

# Le halo de matière sombre

$$V = \sqrt{\frac{GM(r)}{r}}$$
$$M(r) = \frac{V^2 r}{G}$$
$$\frac{dM}{dr} = 4\pi r^2 \rho = V^2 / G$$
$$\rho(r) = \frac{V^2}{4\pi G r^2}$$



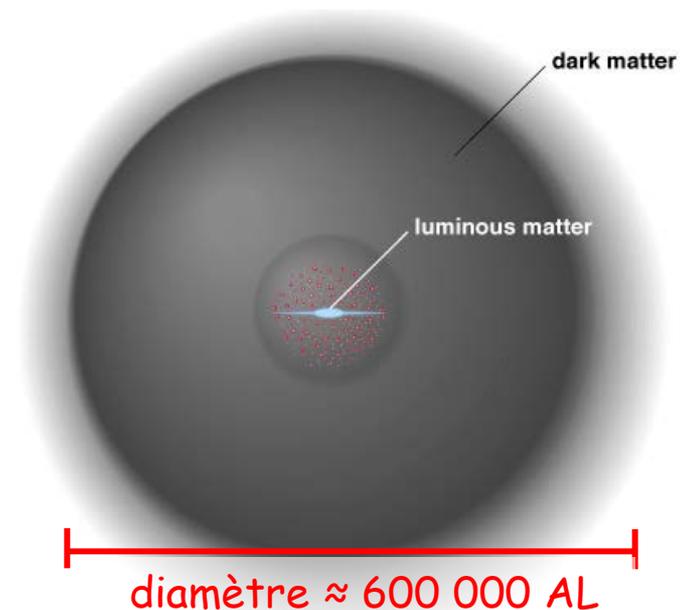
Copyright © 2008 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Addison-Wesley.

Masse totale de la Voie Lactée calculée  
via influences gravitationnelles

⇒  $10^{12} M_{\odot}$  dont 1/5 lumineuse

⇒ le reste: gigantesque halo  
sphérique de matière sombre.

La matière sombre semble également  
exister à l'échelle des amas de galaxies  
ainsi qu'à des échelles supérieures



# Les galaxies voisines

## Les galaxies naines en orbite autour de la Voie lactée :

Petit Nuage de Magellan (SMC),

Grand Nuage de Magellan (LMC),

Fornax, Sculpteur, sextant, dragon, carène, ...

LMC et SMC reliés à la VL par des filaments de matière  $\Rightarrow$  cannibalisme par la VL ?

Ces galaxies satellites déforment le disque galactique par effet de marée

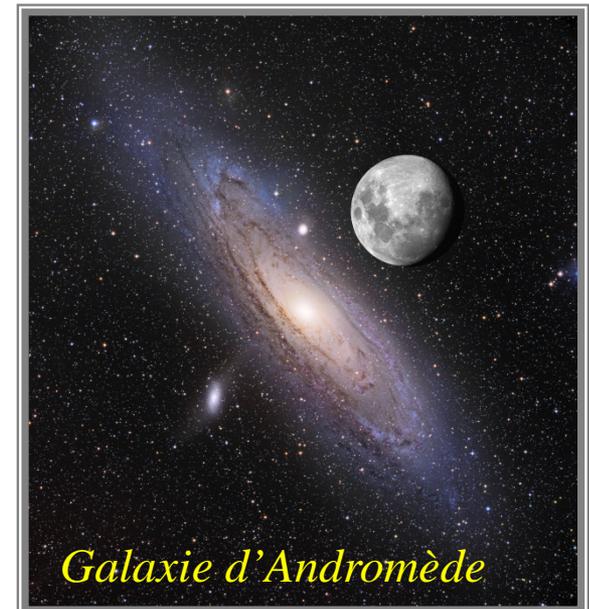
## Galaxie d'Andromède

Spirale géante

de masse comparable à la Voie Lactée

(ou  $>$  :  $\sim 10^{12}$  étoiles)

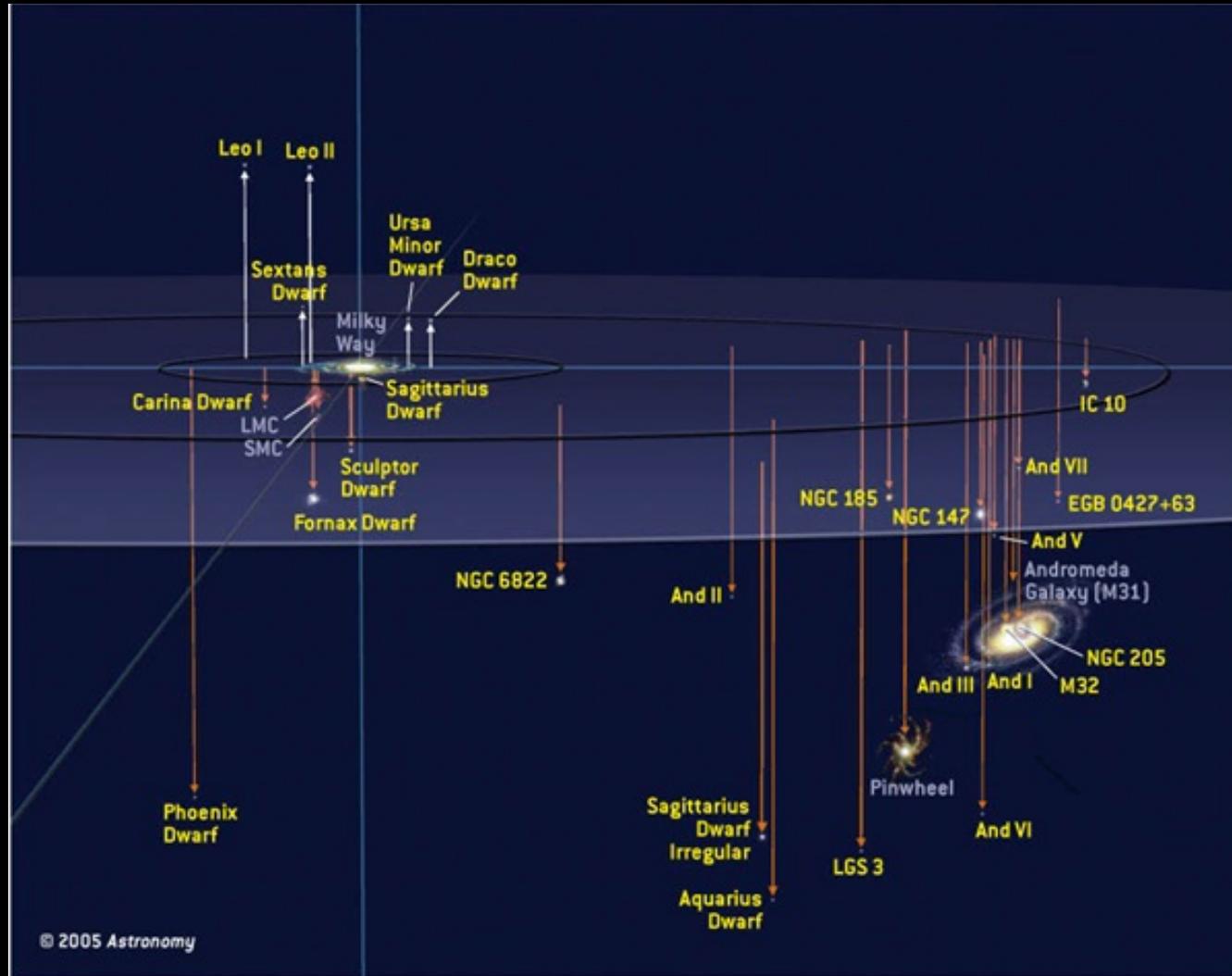
distance =  $2,5 \cdot 10^6$  AL



# Le Groupe Local

Regroupement d'une trentaine de galaxies « liées » gravitationnellement, dans un volume de diamètre  $D \sim 4 \cdot 10^6$  AL

Il comprend : La Voie Lactée + satellites et Andromède + satellites





# Avenir de la Voie Lactée ?

Andromède se rapproche très vite de notre galaxie : blueshift (Doppler)

⇒ dans  $\sim 3.75 \cdot 10^9$  années: **collision** entre Andromède et la Voie Lactée !!

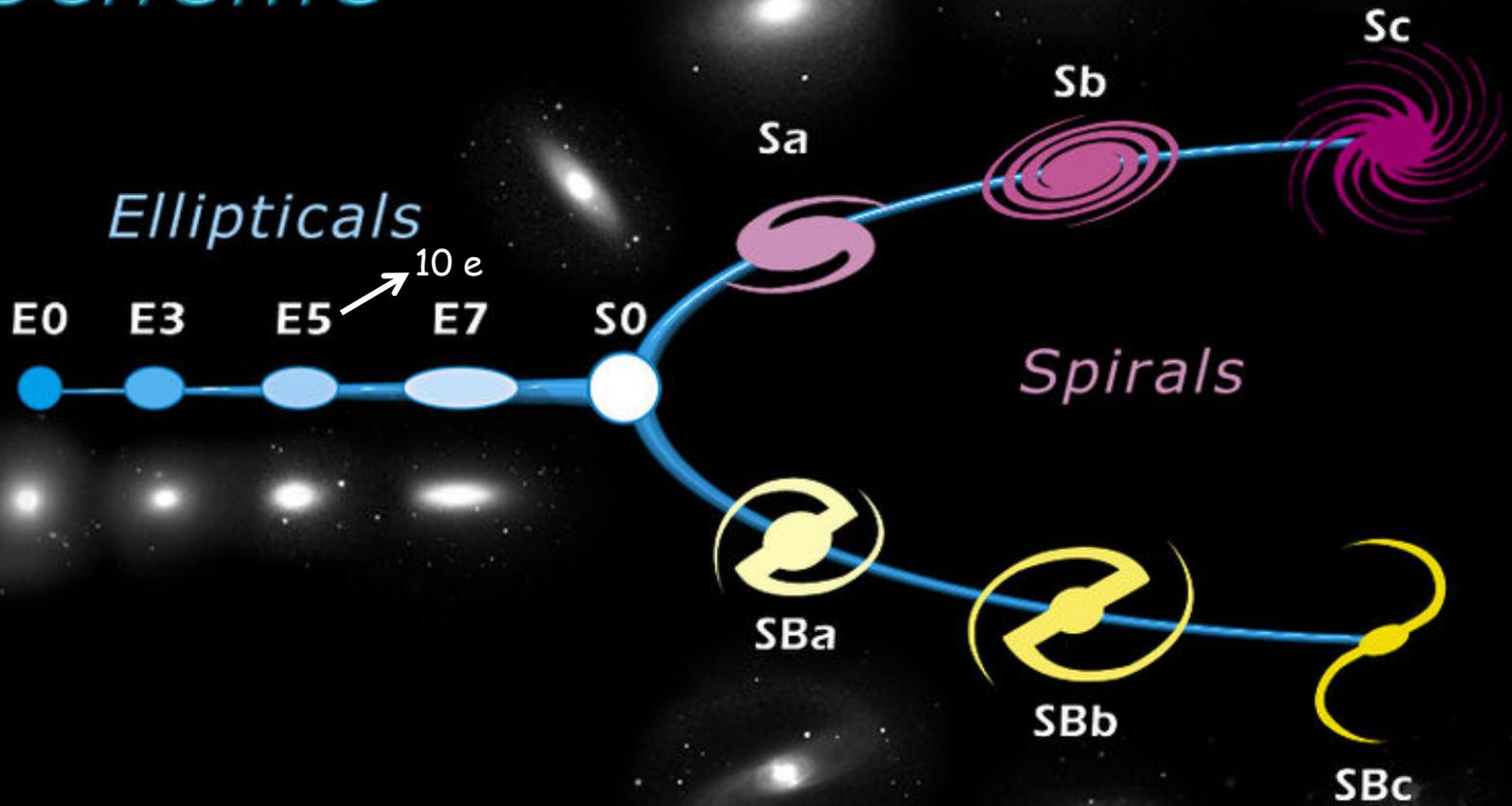
⇒ Les 2 galaxies ne formeront plus qu'une galaxie

⇒ collisions entre étoiles peu probables

⇒ mais rencontres de nuages de gaz et de poussières

= nouvelles pouponnières d'étoiles

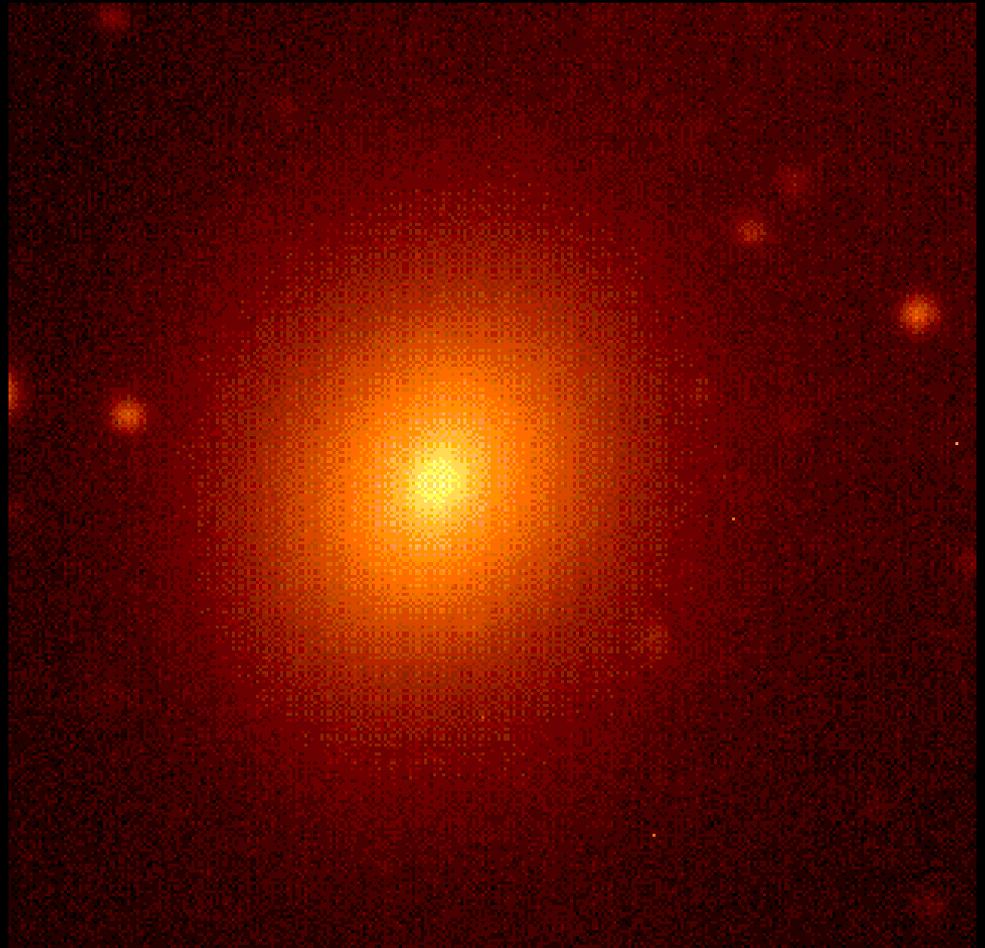
# Edwin Hubble's Classification Scheme



# Galaxies elliptiques

## ■ Couleur rougeâtre

- → Etoiles vieilles
- → Pas de matière interstellaire
- → Pas de poussières
- → Pas d'étoiles en formation

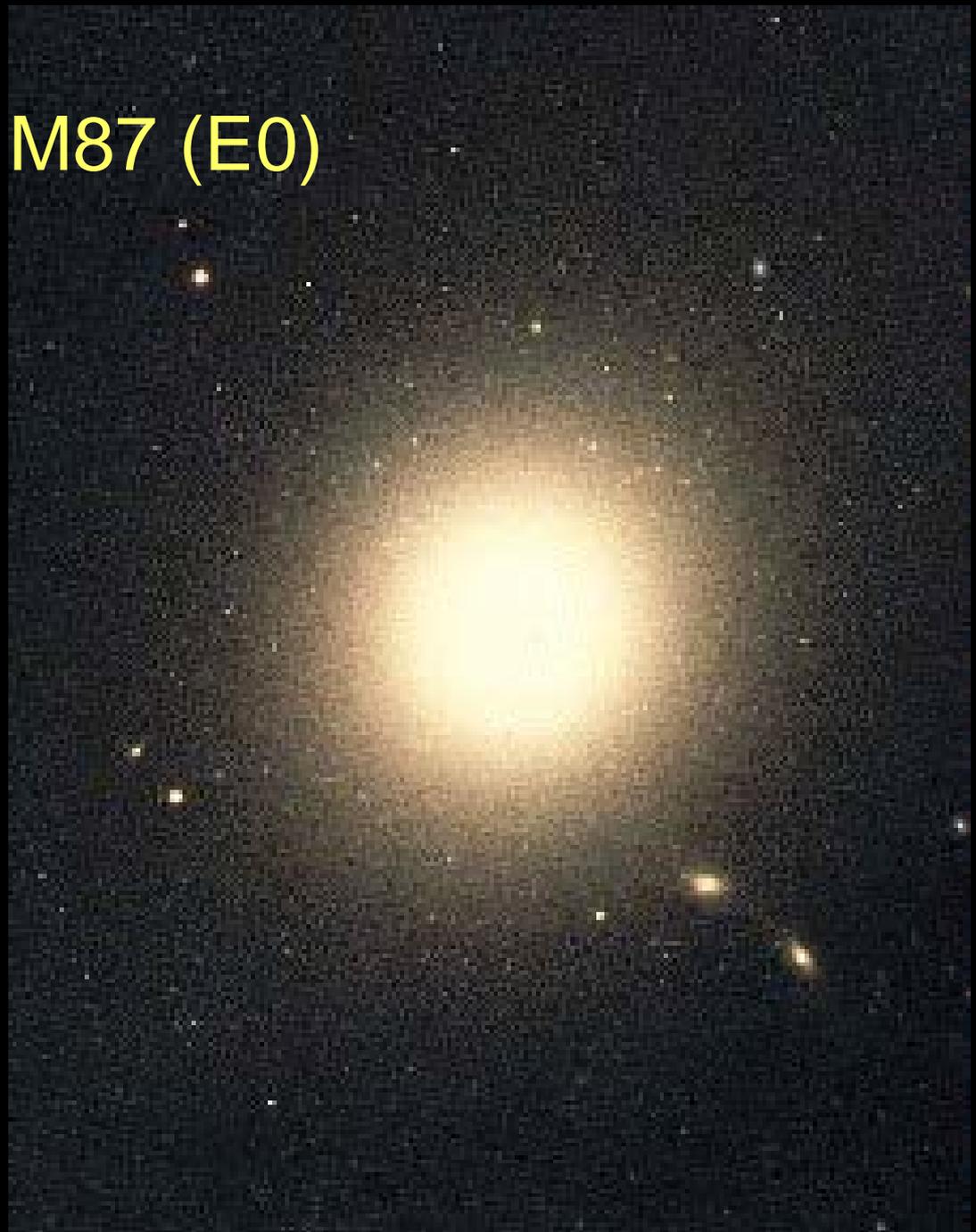


M59

Galaxies  
elliptiques



M87 (E0)



Galaxies  
elliptiques

# Galaxies lenticulaires

## Le Sombrero



# Galaxies Spirales normales

**M81**

Type Sab



**M31**

« nébuleuse d'Andromède »

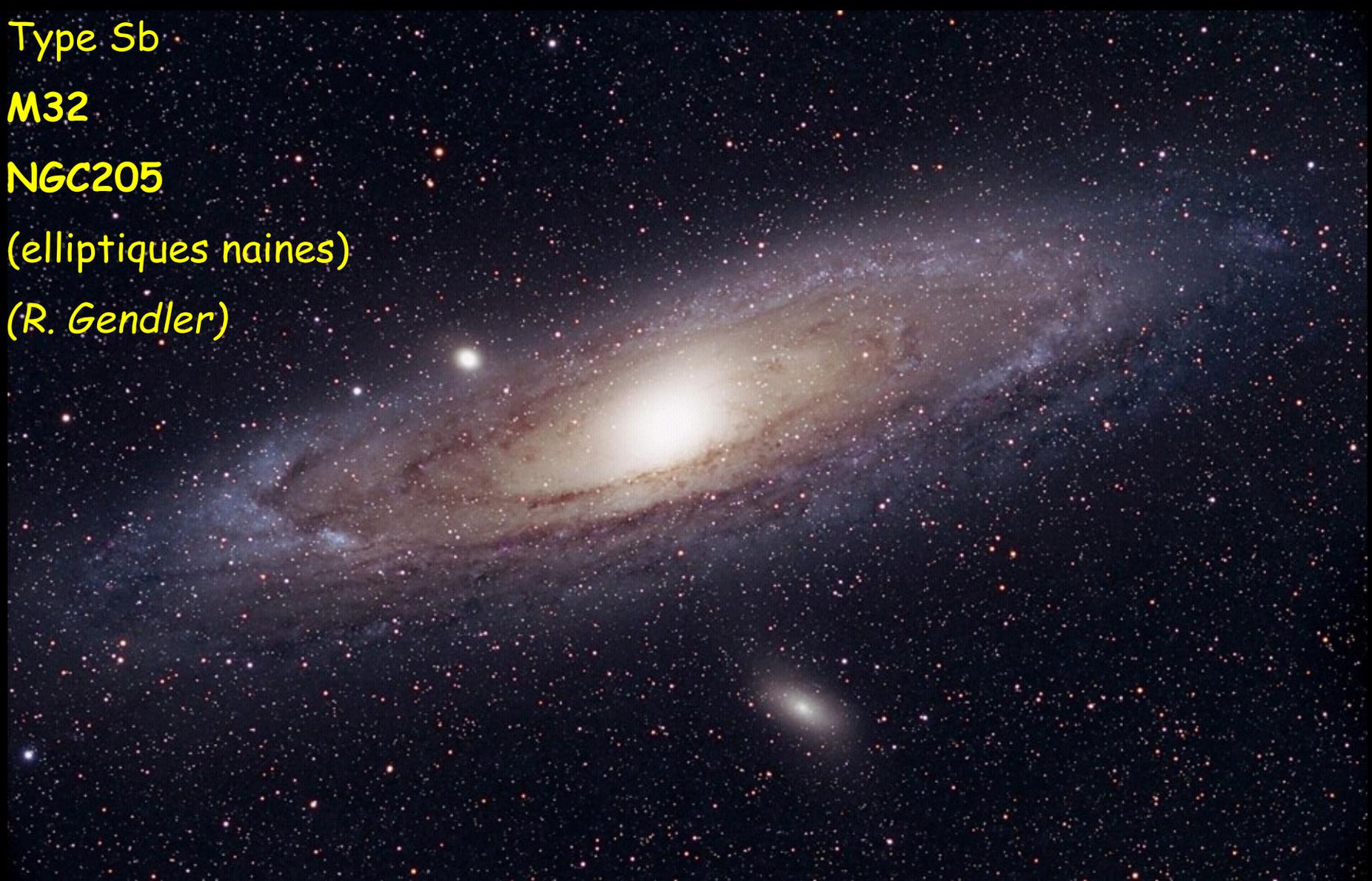
Type Sb

**M32**

**NGC205**

(elliptiques naines)

(R. Gendler)



Galaxies  
Spirales  
normales

Le Tourbillon  
Sc



M74

Type Sc

*(Gemini)*



NGC 4622



Galaxies Spirales normales

ESO 510-G13



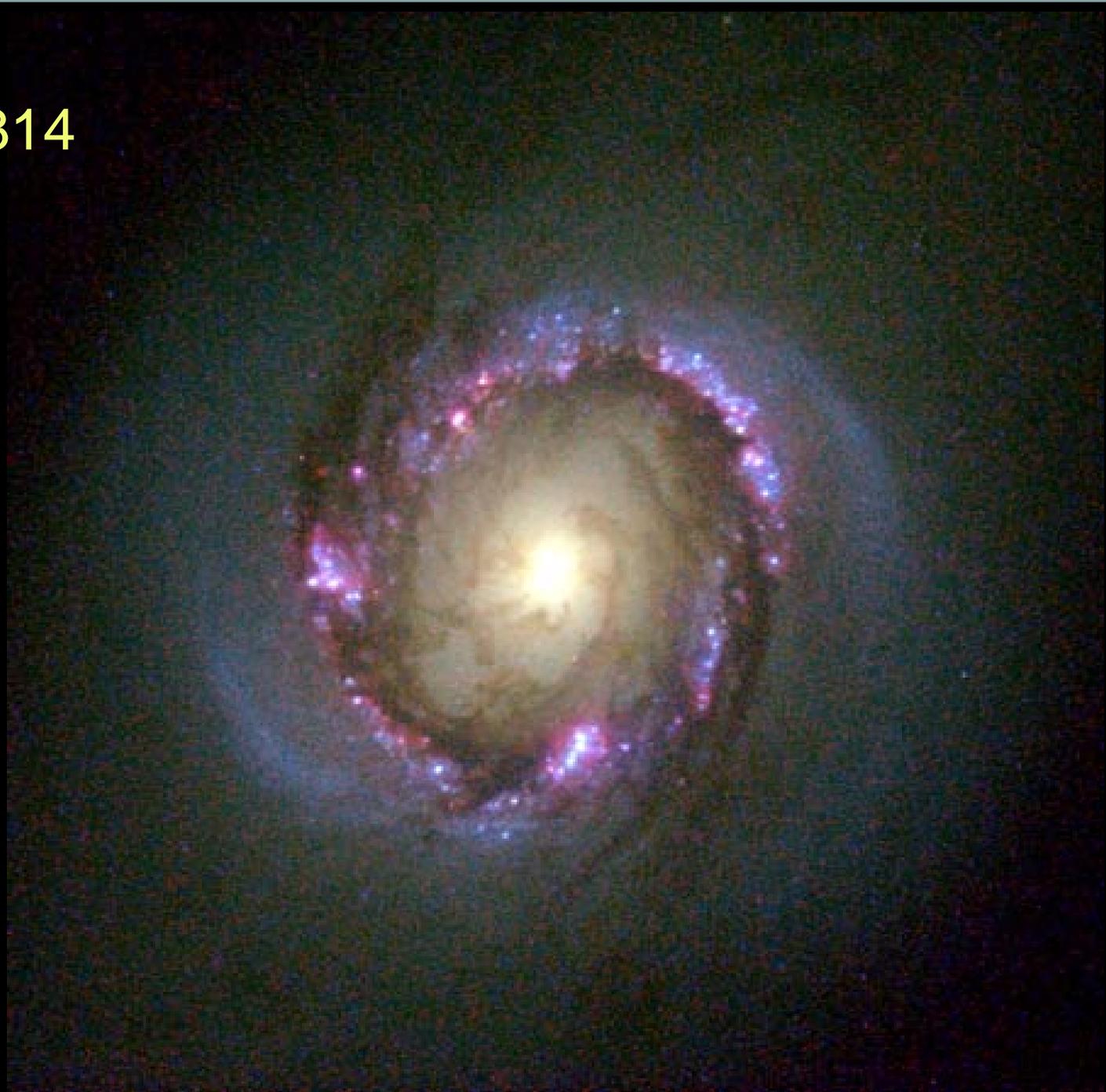
Galaxies Spirales normales

ESO 269





NGC 4314



NGC1300

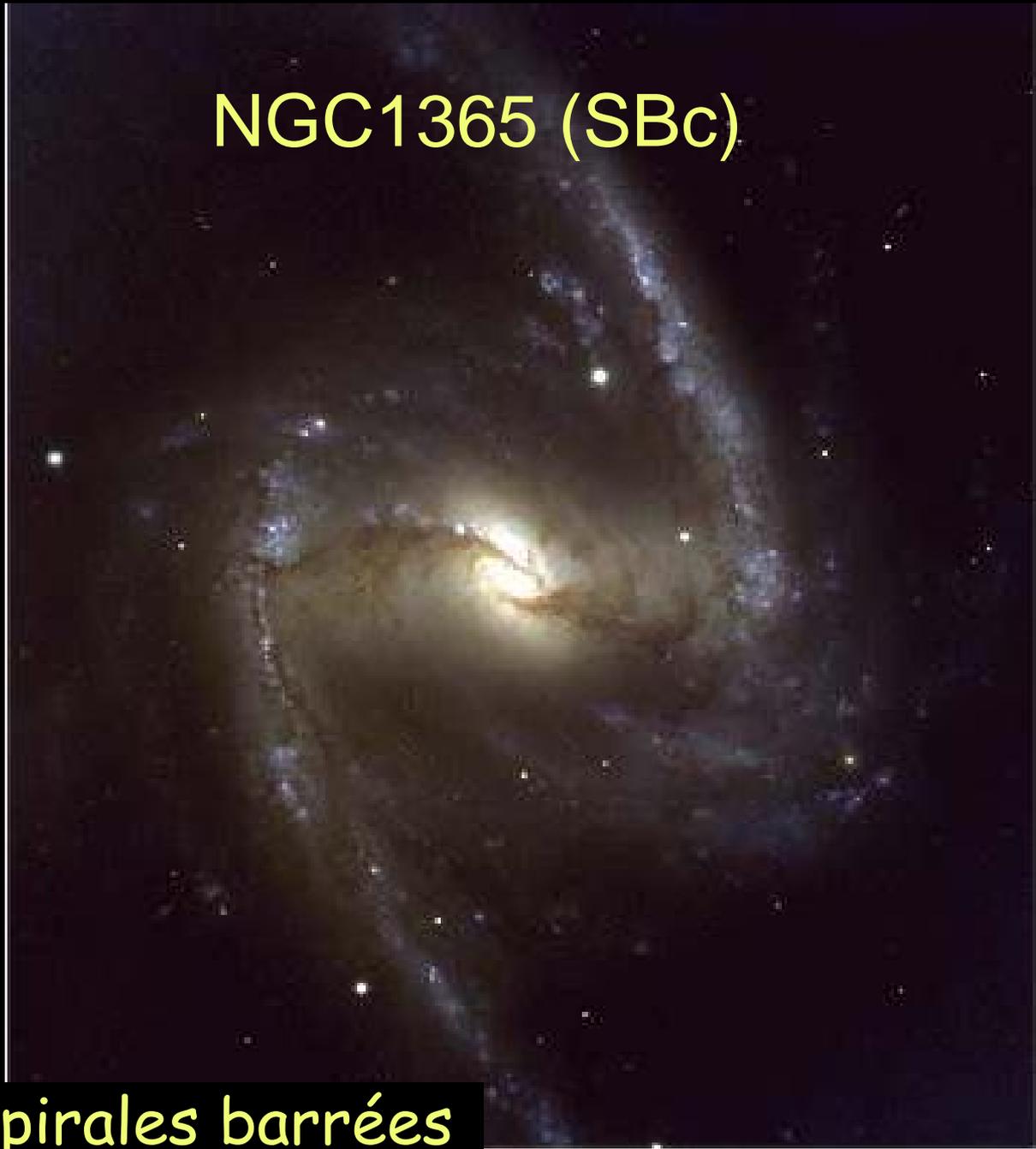
Type SBbc

(HST)



Galaxies Spirales barrées

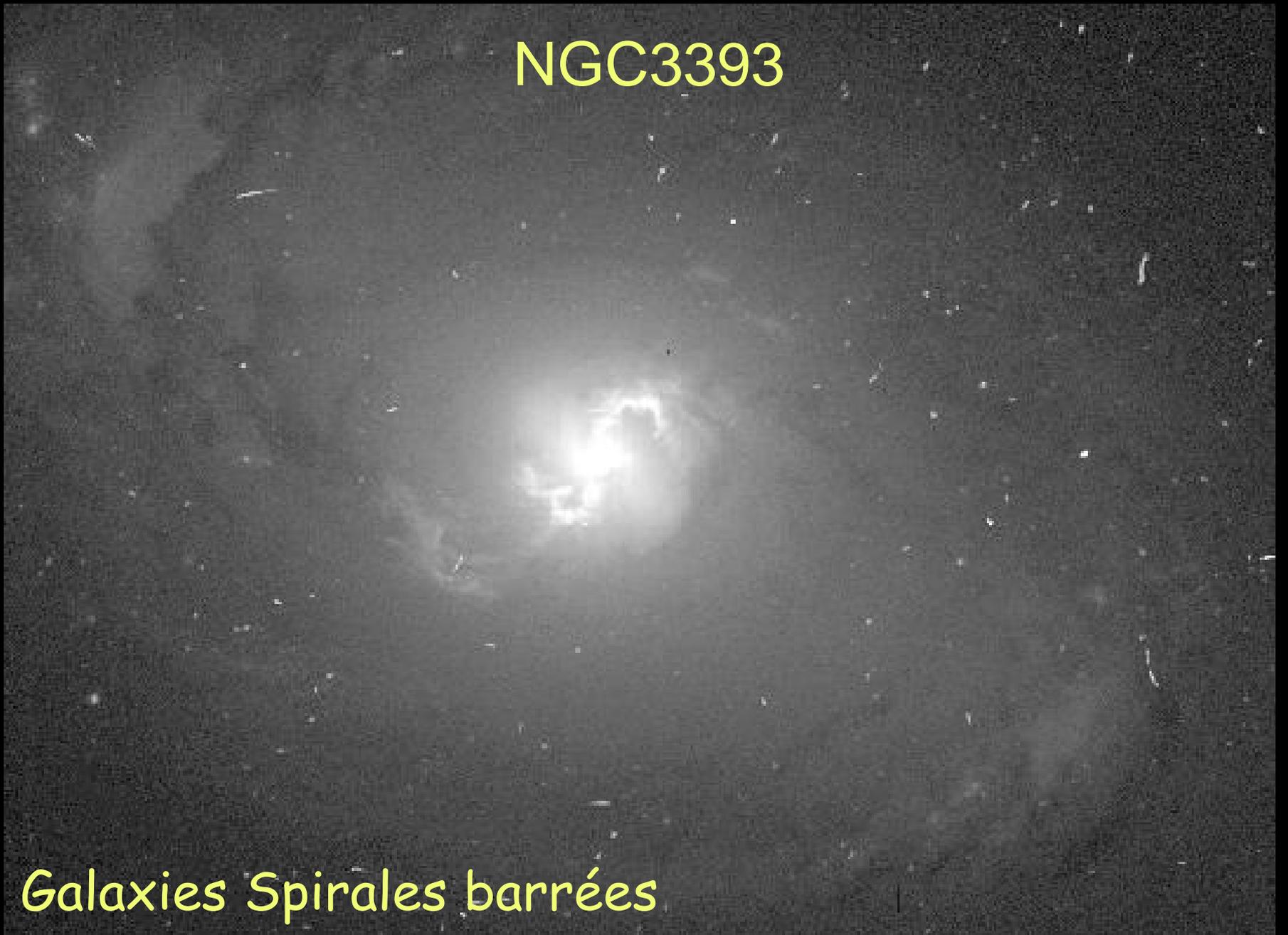
NGC1365 (SBc)



Galaxies Spirales barrées

NGC3393

Galaxies Spirales barrées

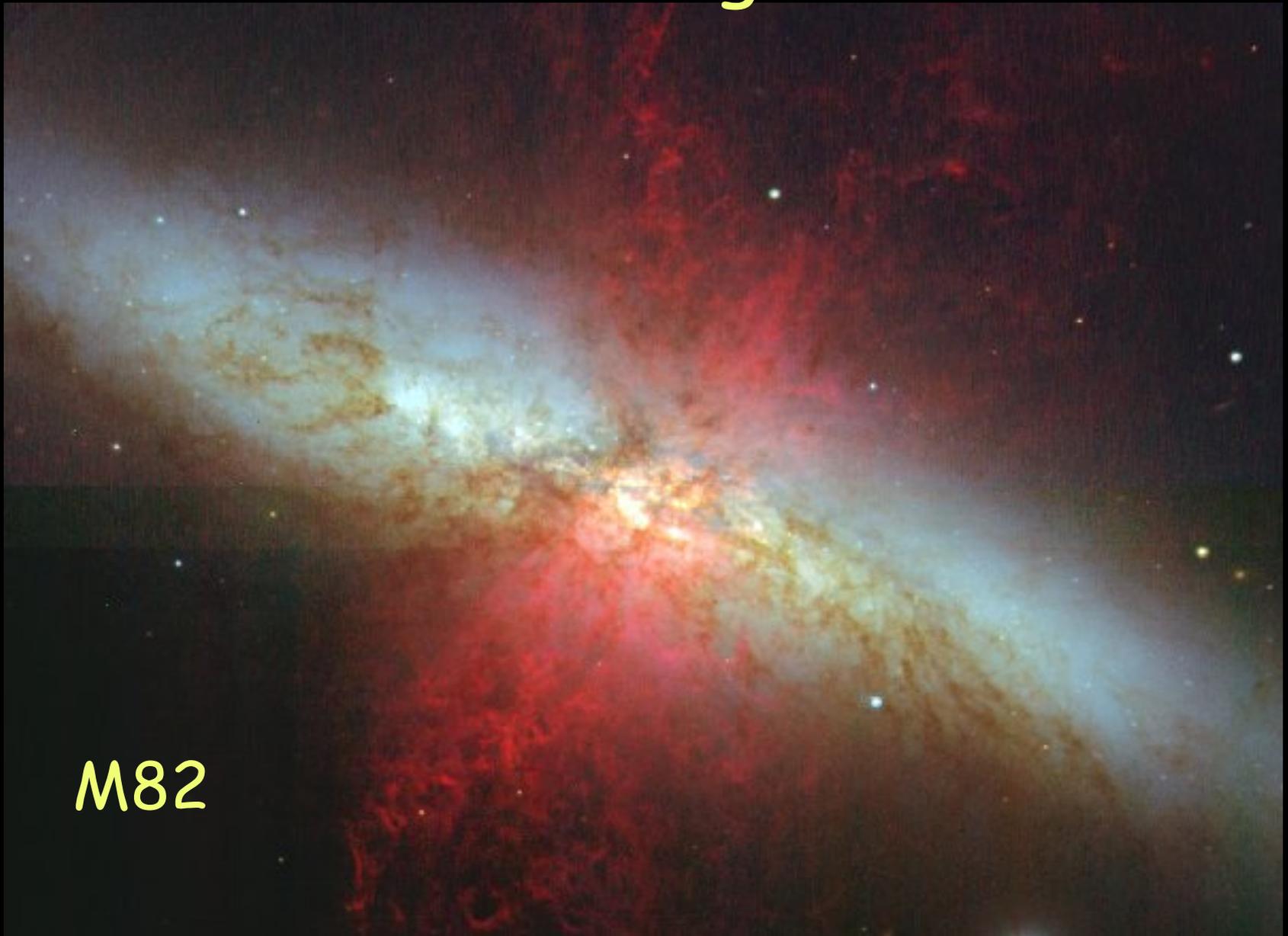


M83



AAT 8

# Galaxies irrégulières



M82

# Grand Nuage de Magellan (LMC)



# Différences Elliptiques - Spirales

