

# Naissance et vie des Galaxies

St Denis de La Réunion, 3 Avril 2009

Françoise Combes  
Observatoire de Paris

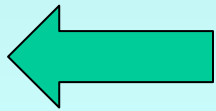
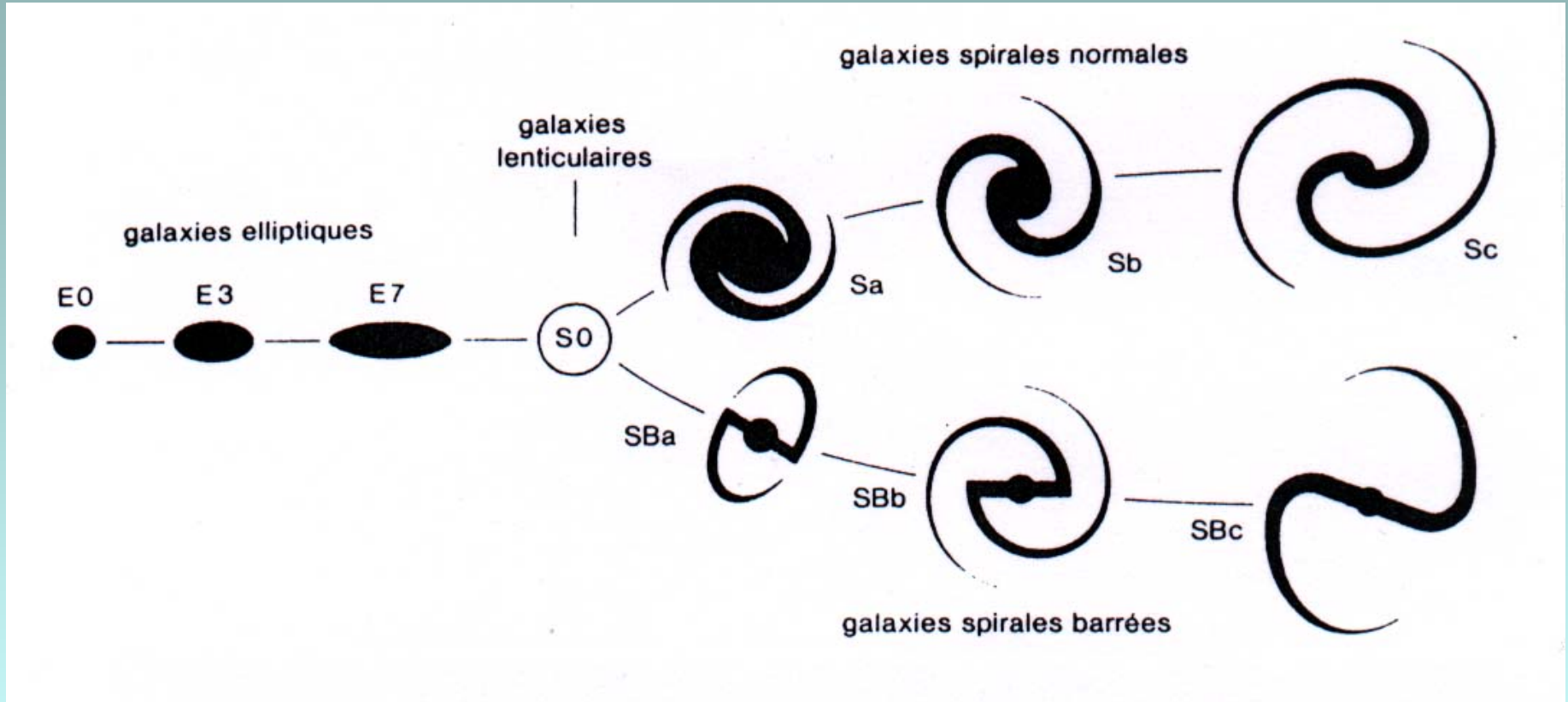


# NGC 2207 et IC 2163– image du télescope Hubble



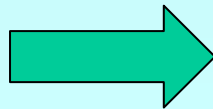
Deux galaxies spirales en interaction

# Séquence de Hubble (diapason)



Séquence de masse, de concentration

Fraction de gas







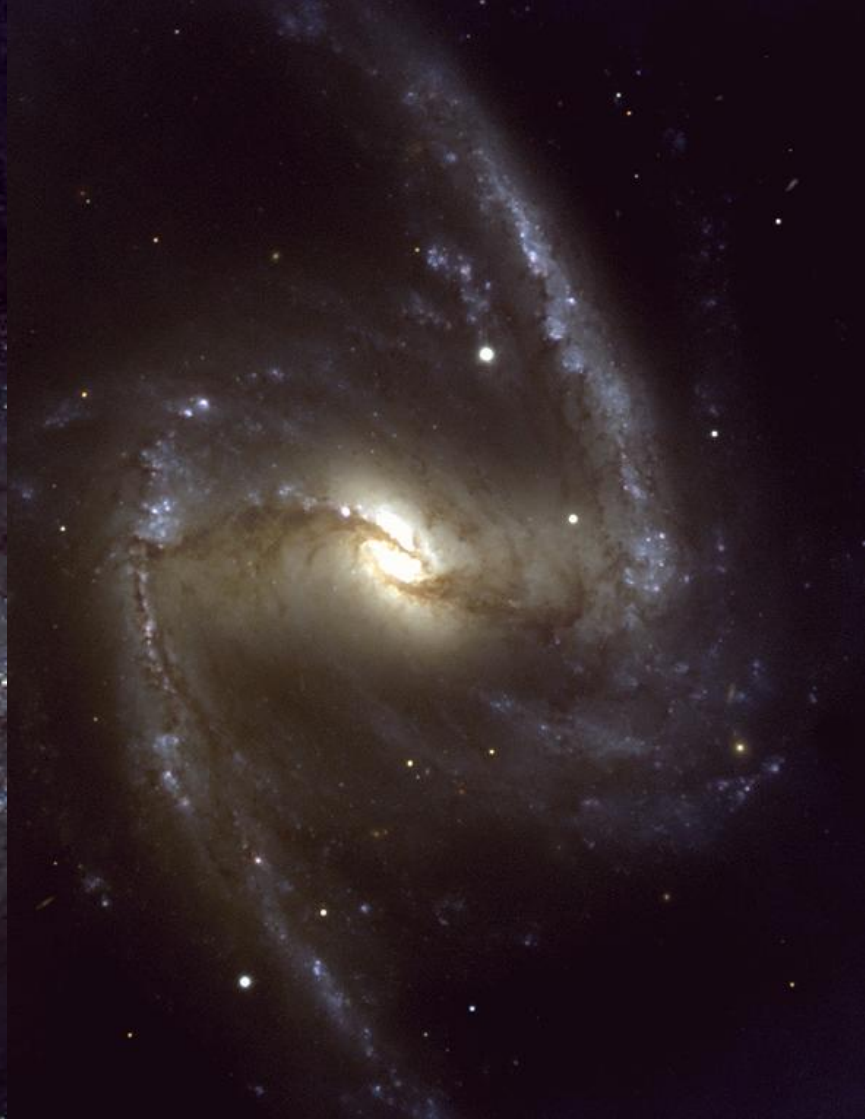
NGC 1232 (image VLT)  
Spirale avec petit compagnon



NGC 2997 (VLT)



Messier 83 (VLT)  
Spirale barrée

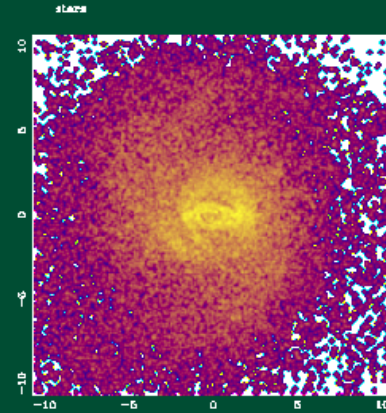
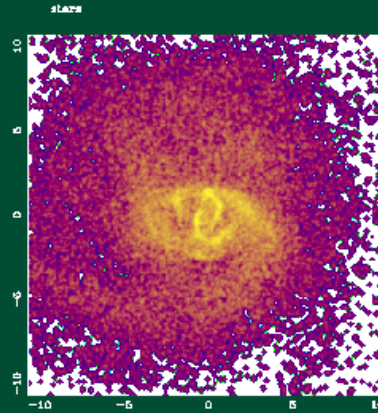
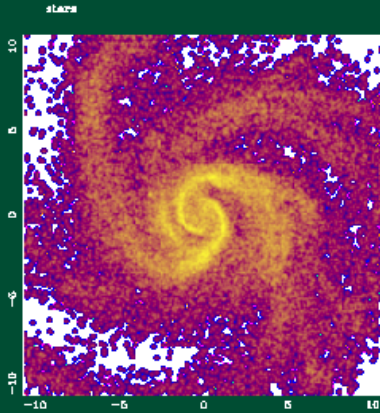


NGC 1365 (VLT)  
Spirale barrée

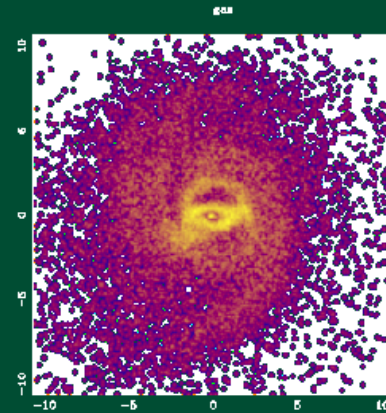
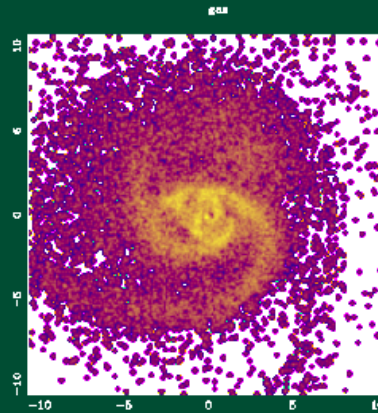
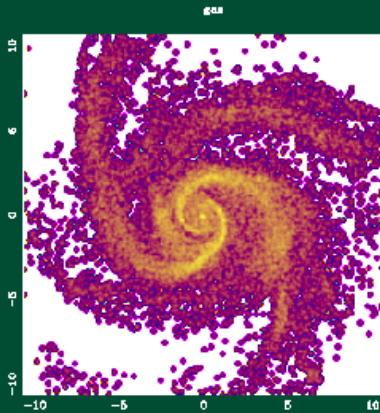


# Formation de barres

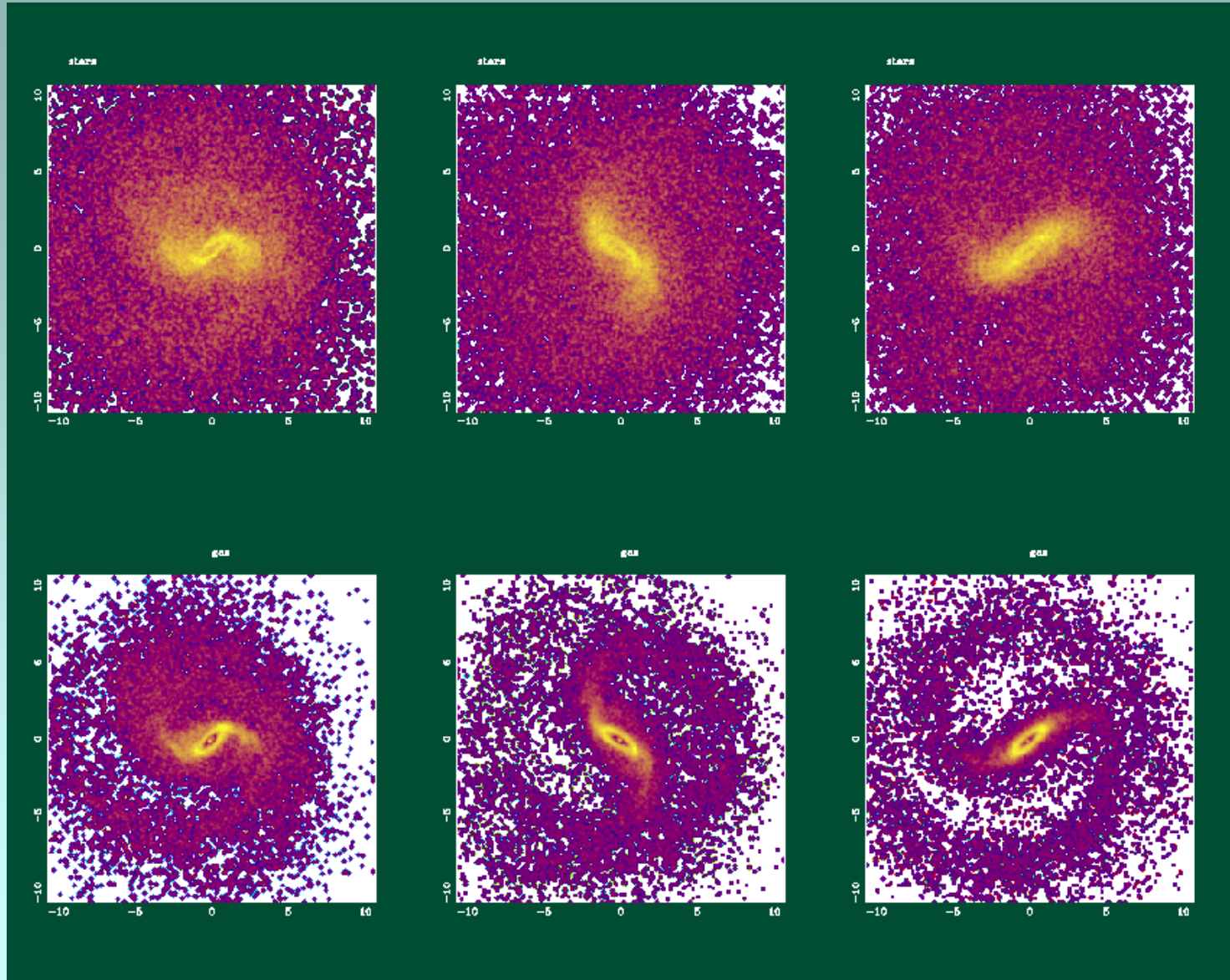
étoiles



gaz

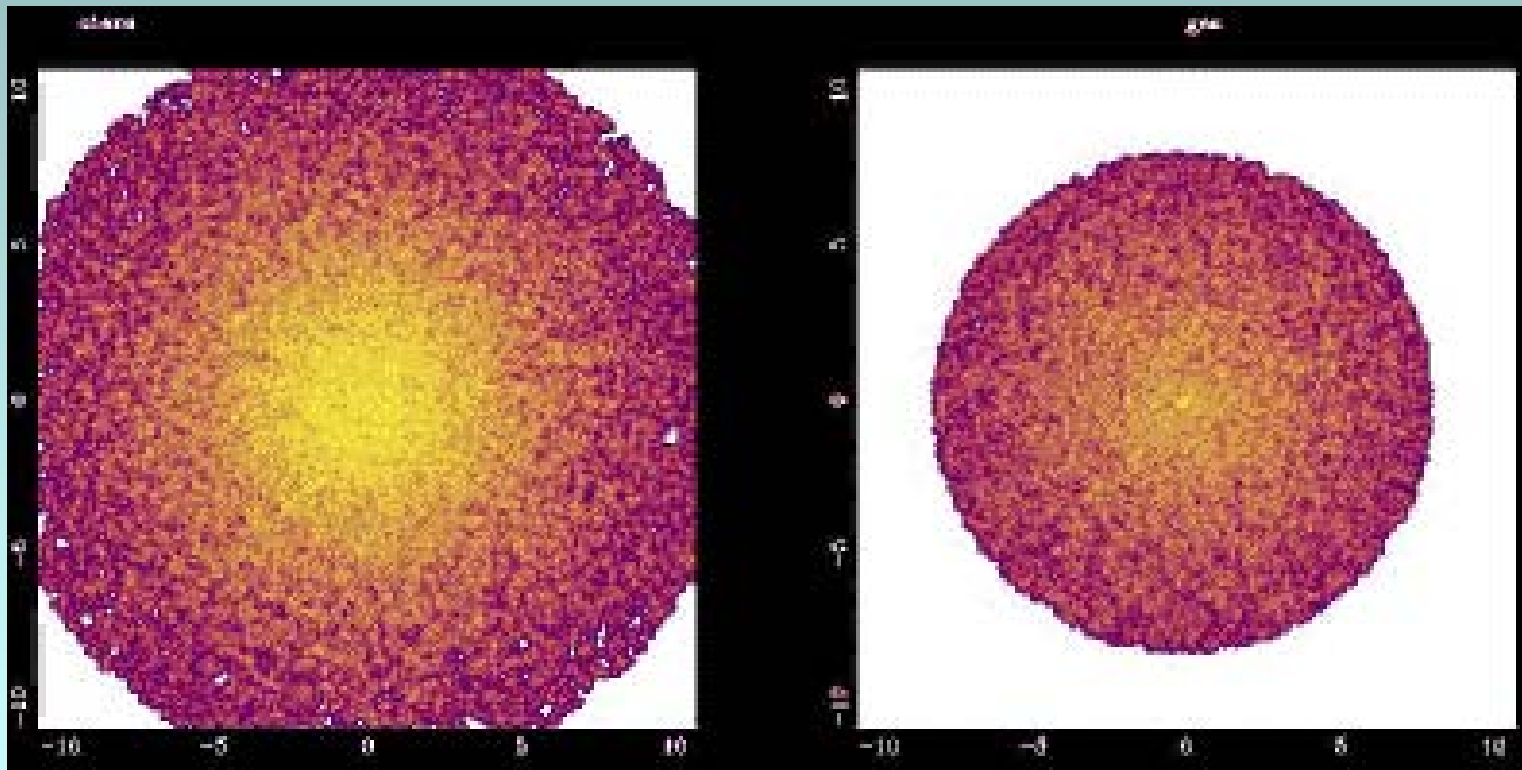


Temps total: 1.2 milliard d'années



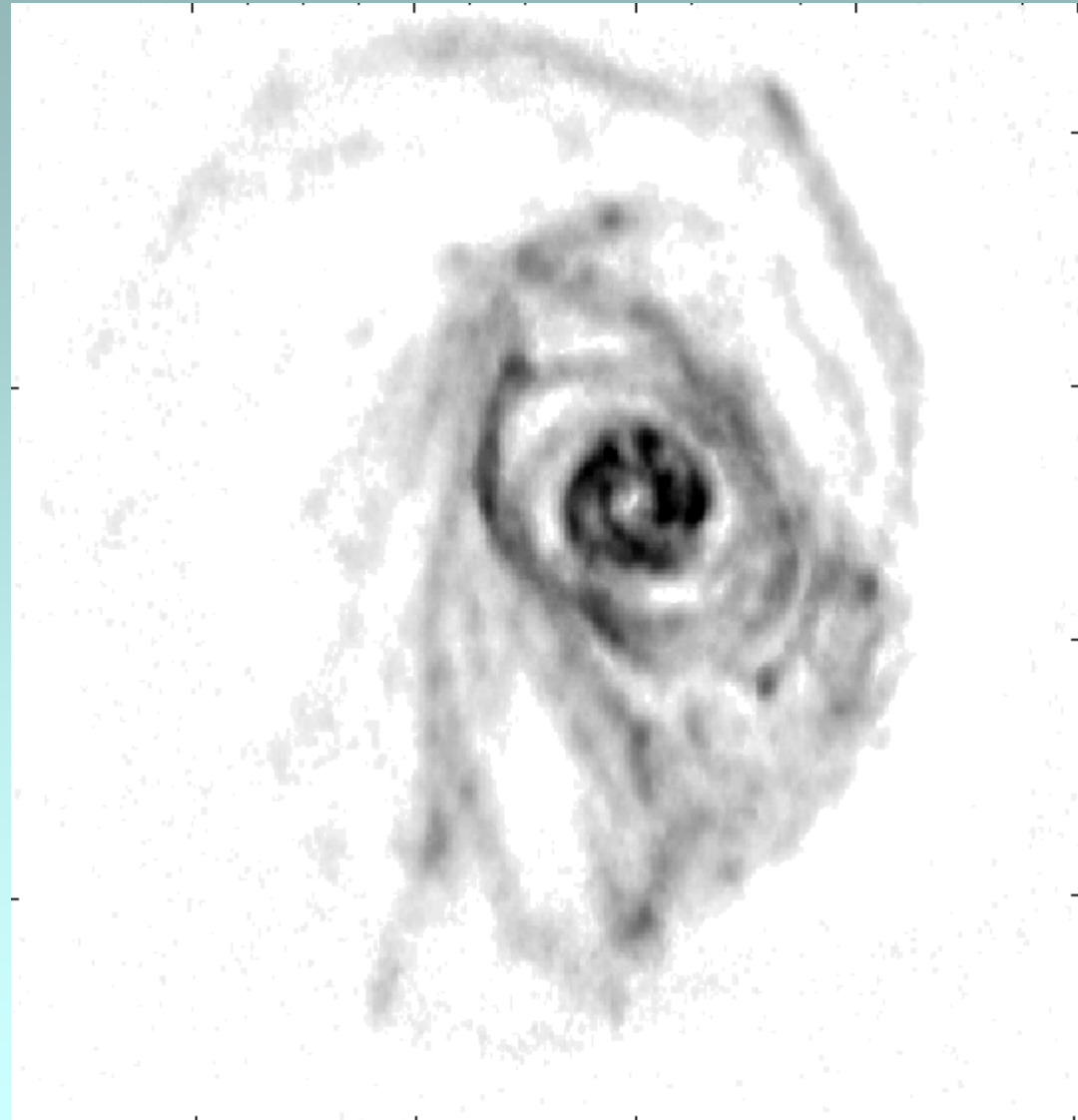
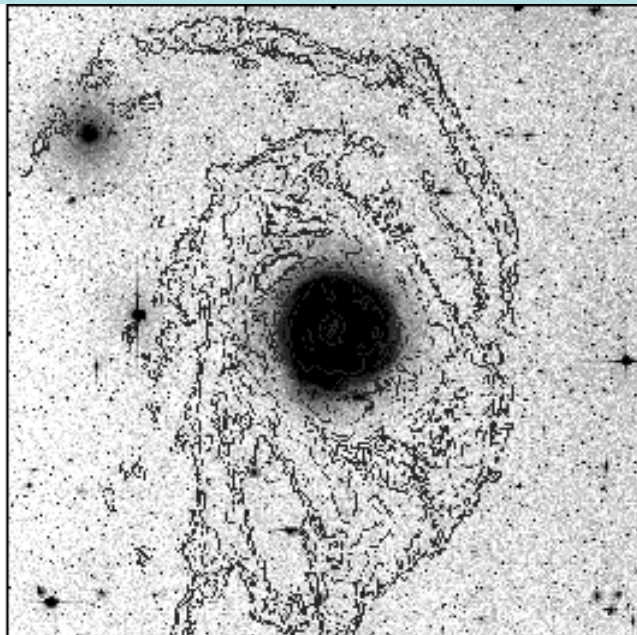
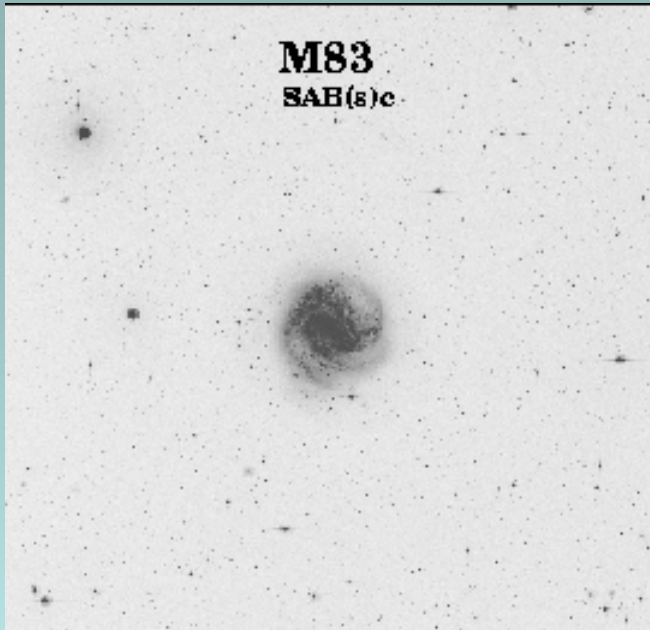
Formation d'anneaux aux résonances

# Formation des spirales et des barres





# Grande étendue d'hydrogène atomique



# Interactions entre galaxies

- Phénomènes de marée très fréquents
- Formation de ponts de matière entre les galaxies
- Fusion entre galaxies
- Formation hiérarchique des galaxies

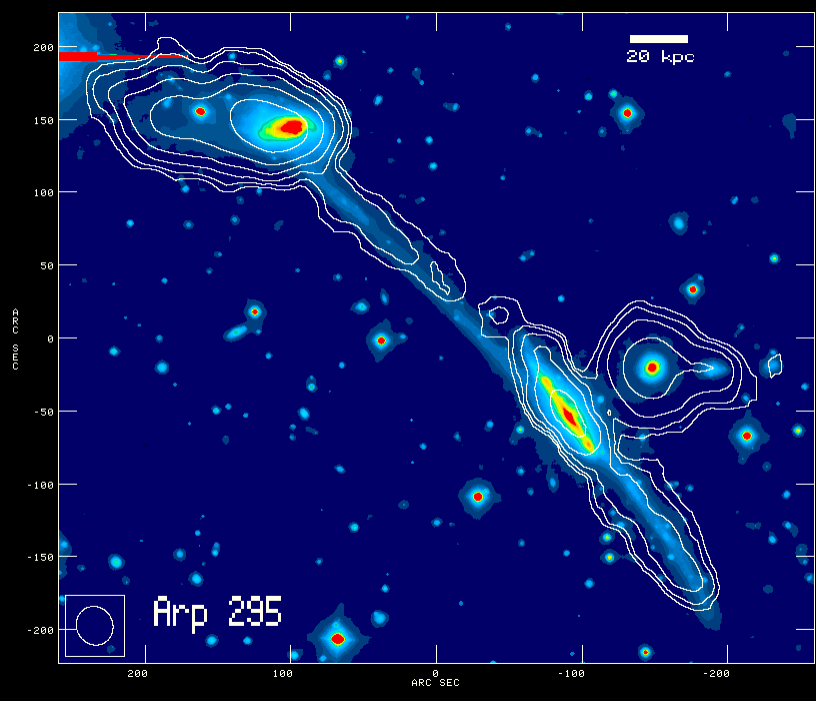


# Arp 188





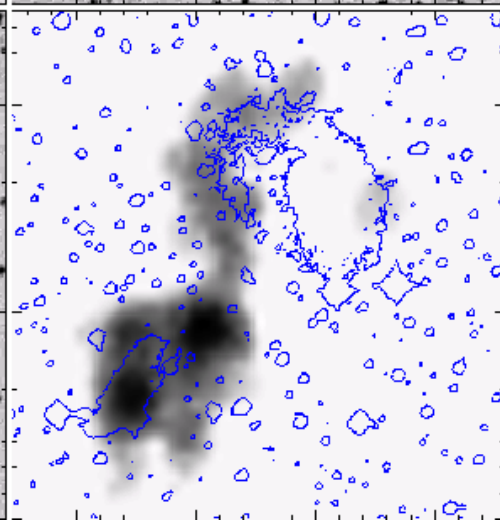
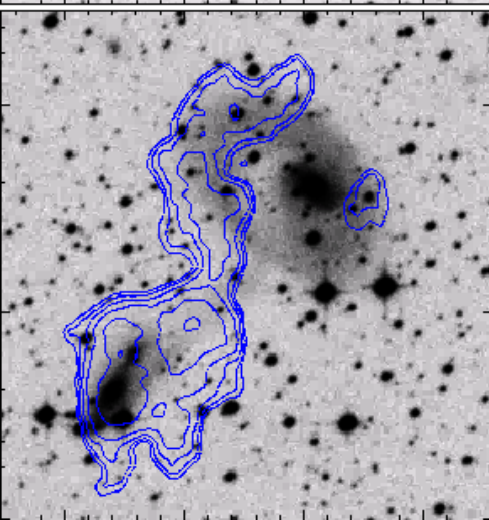
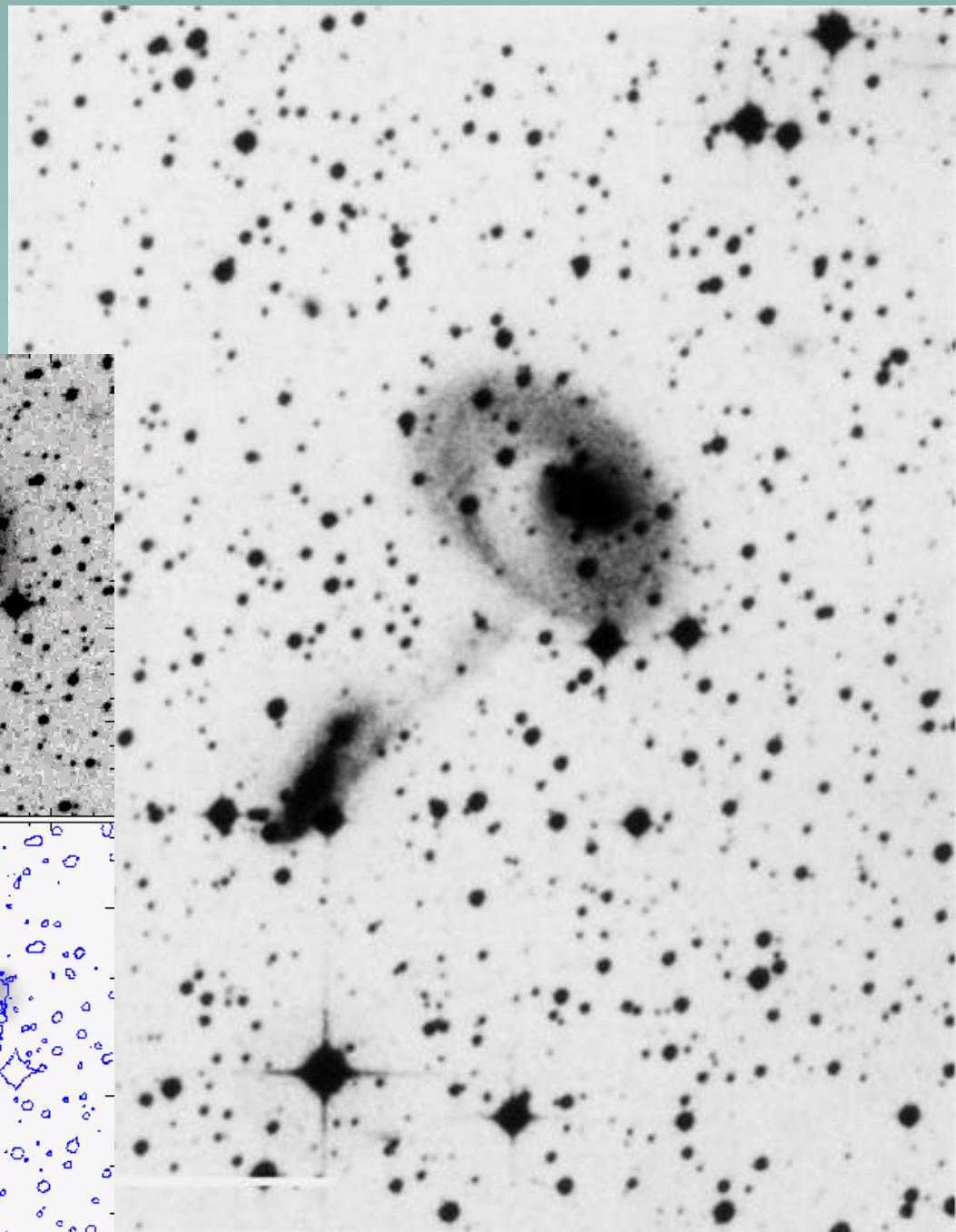
# Arp 295



Contours en blanc:  
Gaz d'hydrogène  
atomique

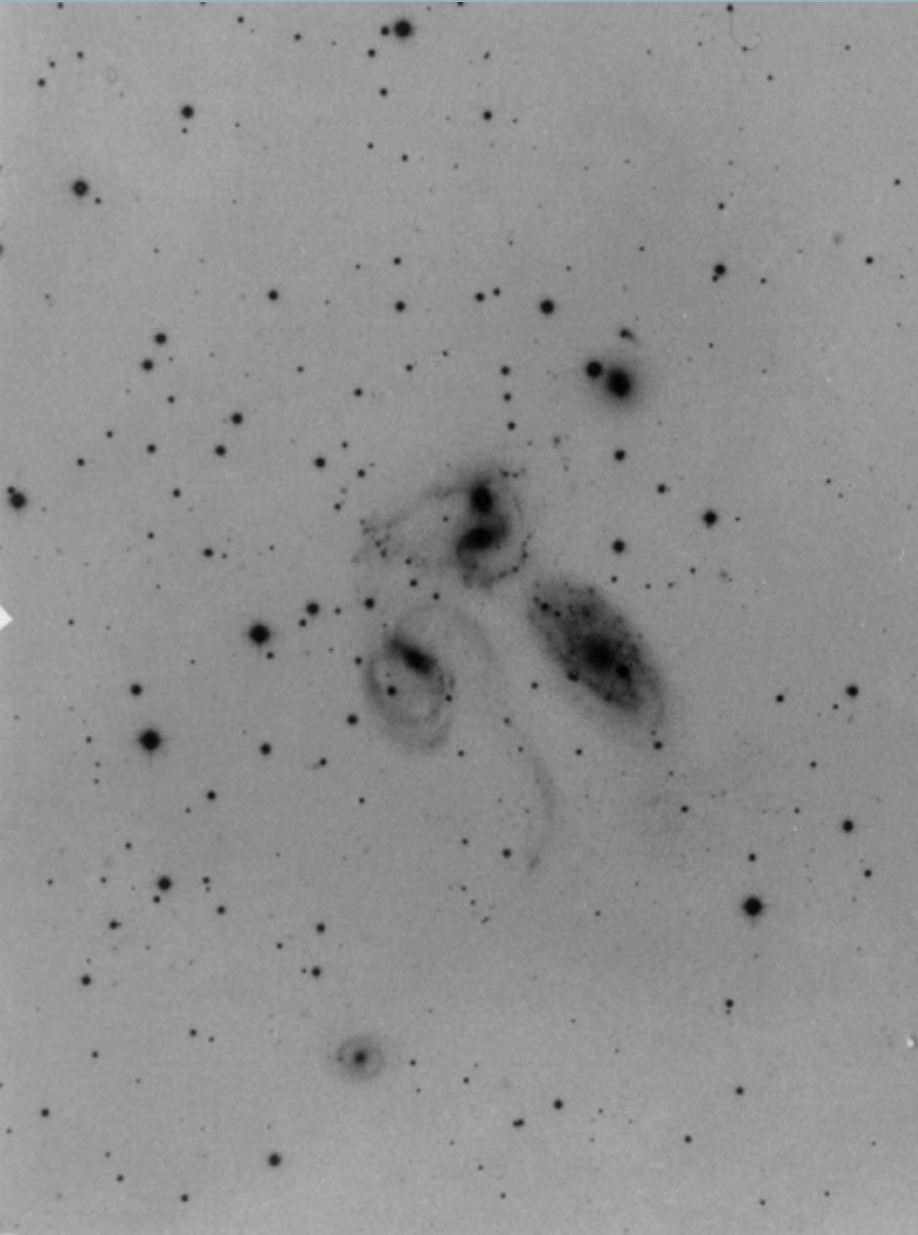


# Le champignon

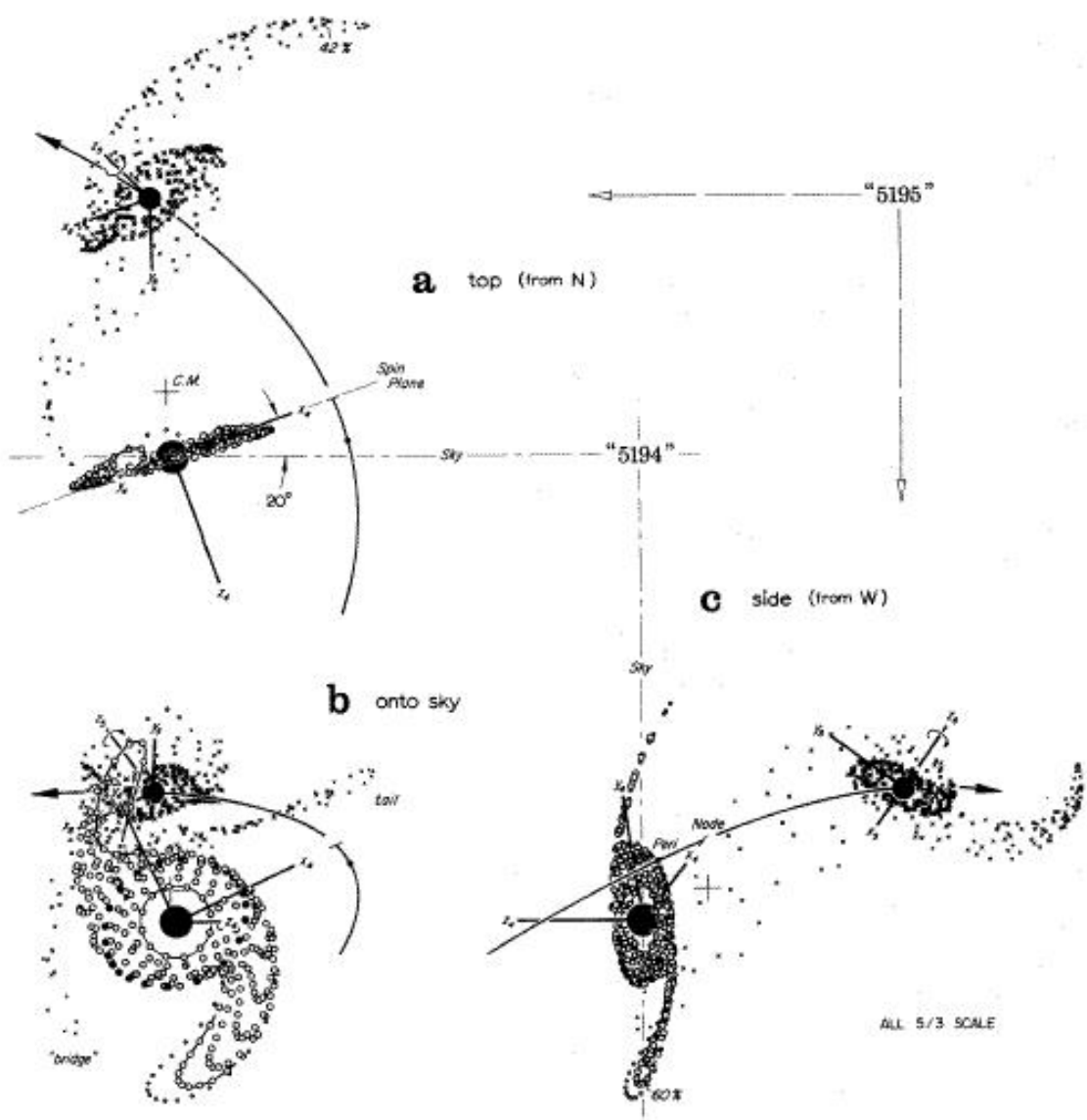




# Quintette de Stefan



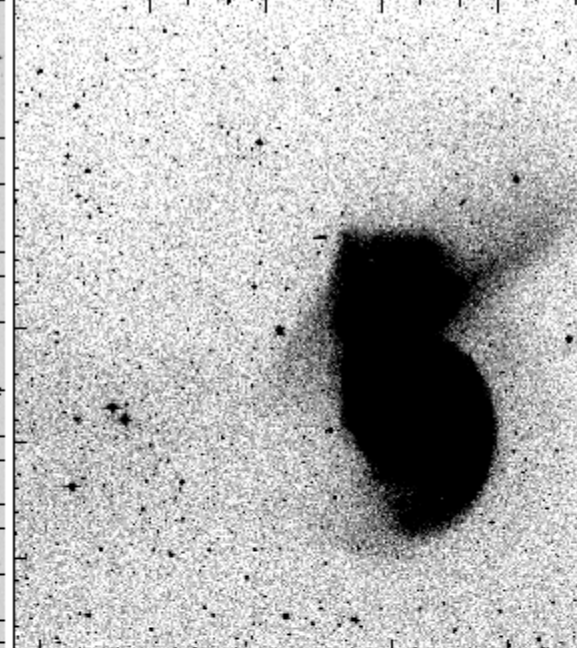
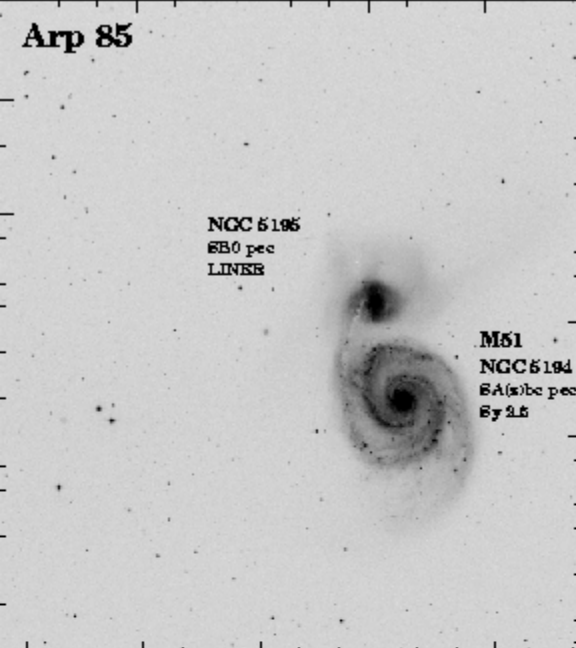




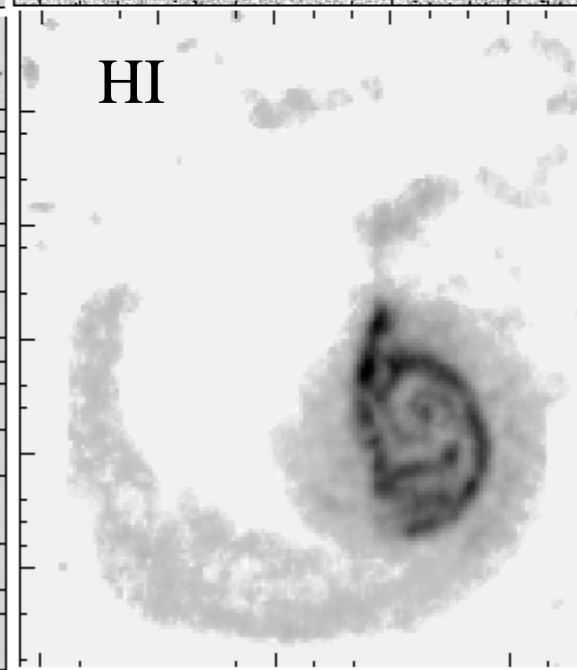
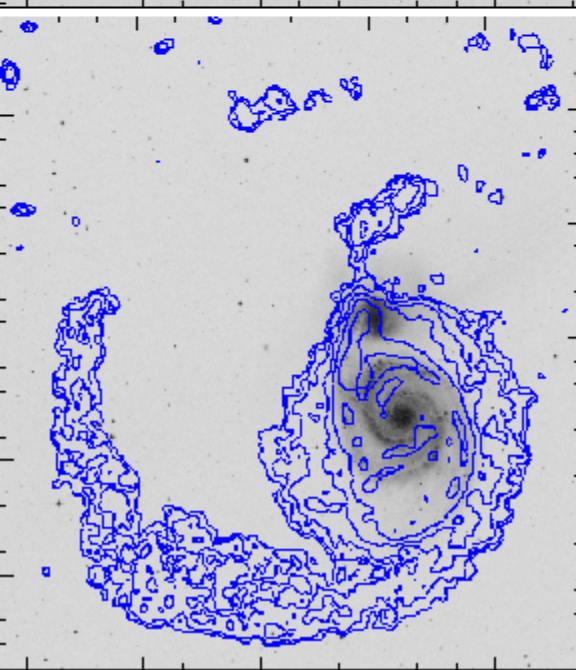
## Messier 51 et son compagnon NGC 5195



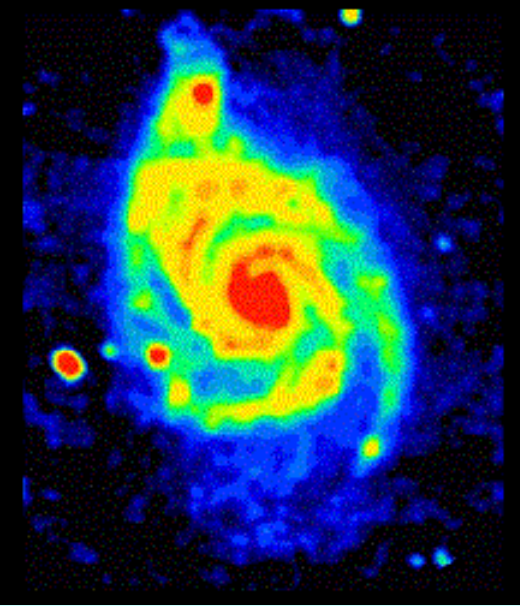
Les premières  
simulations numériques, dans les années  
1970!



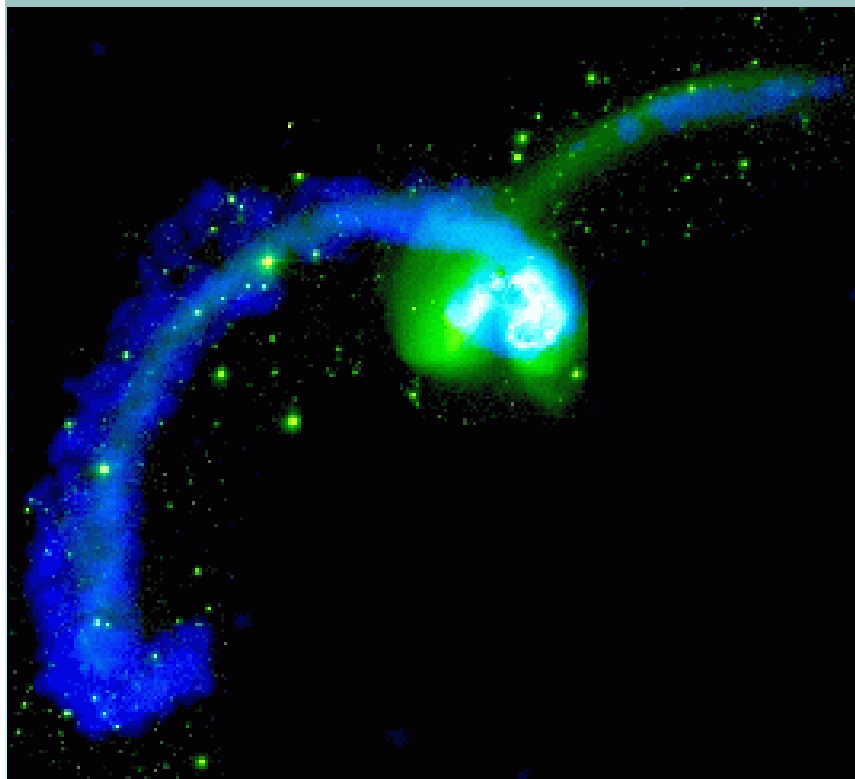
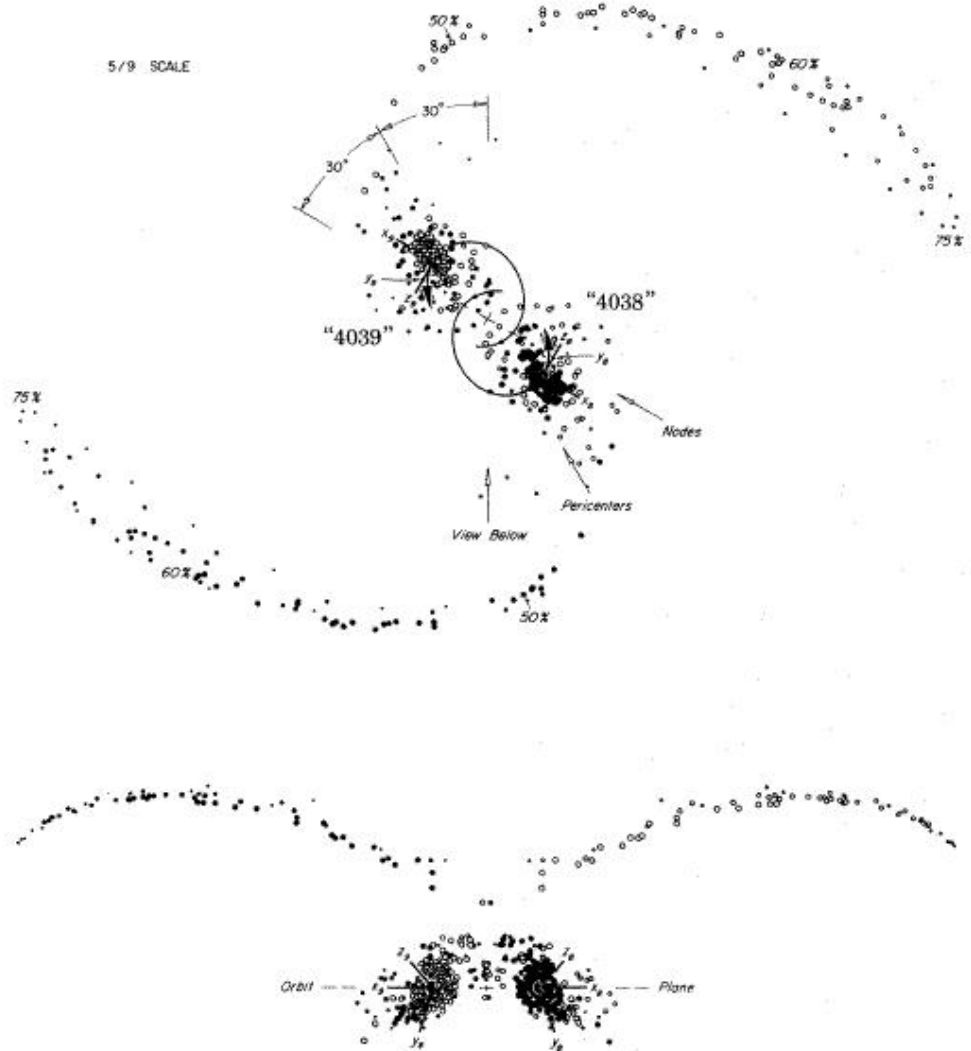
Plusieurs images  
En optique,  
Radio continuum  
Hydrogène atomique HI



Continu Radio VLA



# Les Antennes





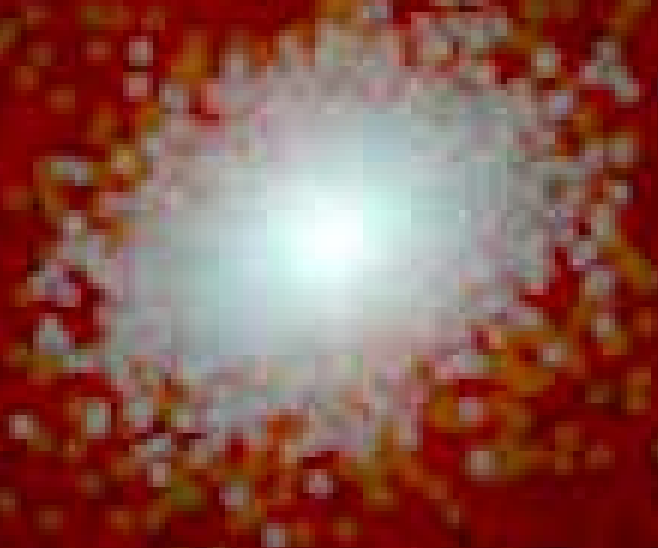
0.00



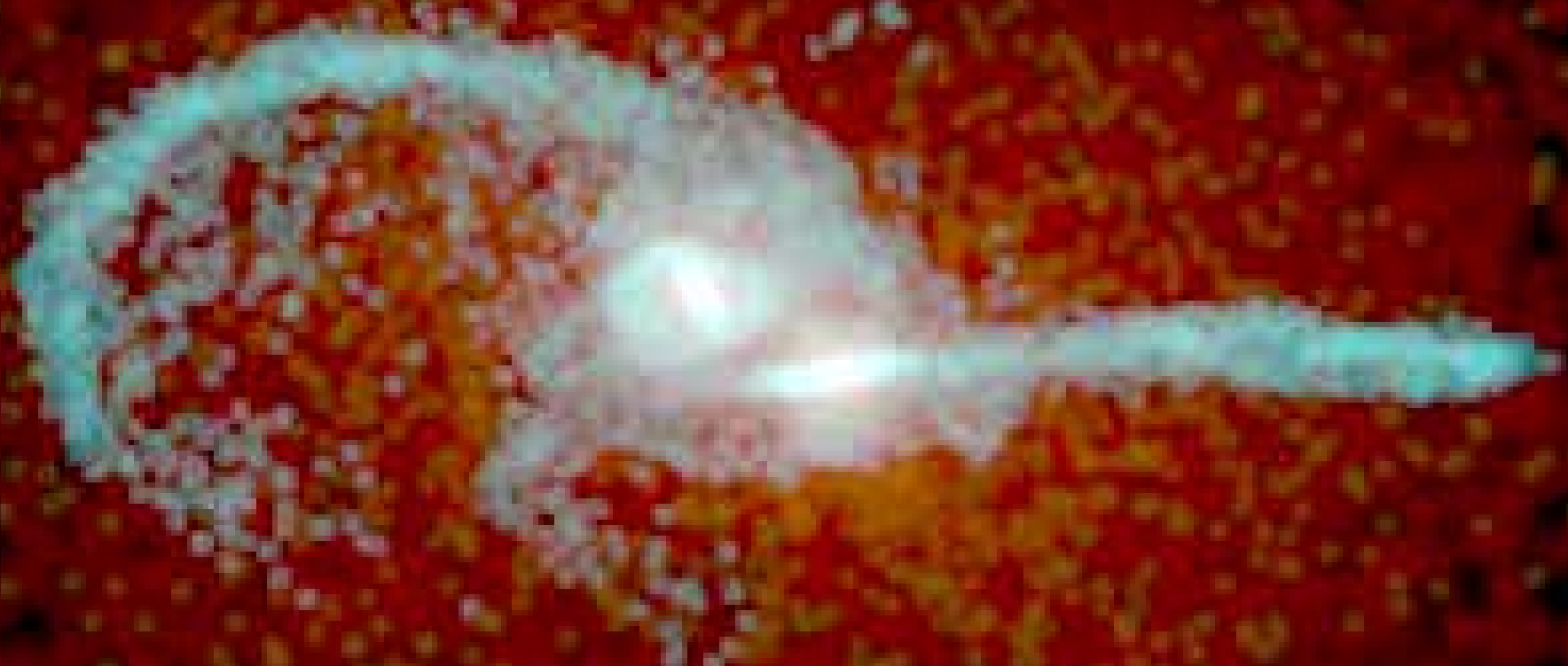
# Les Souris



0.00





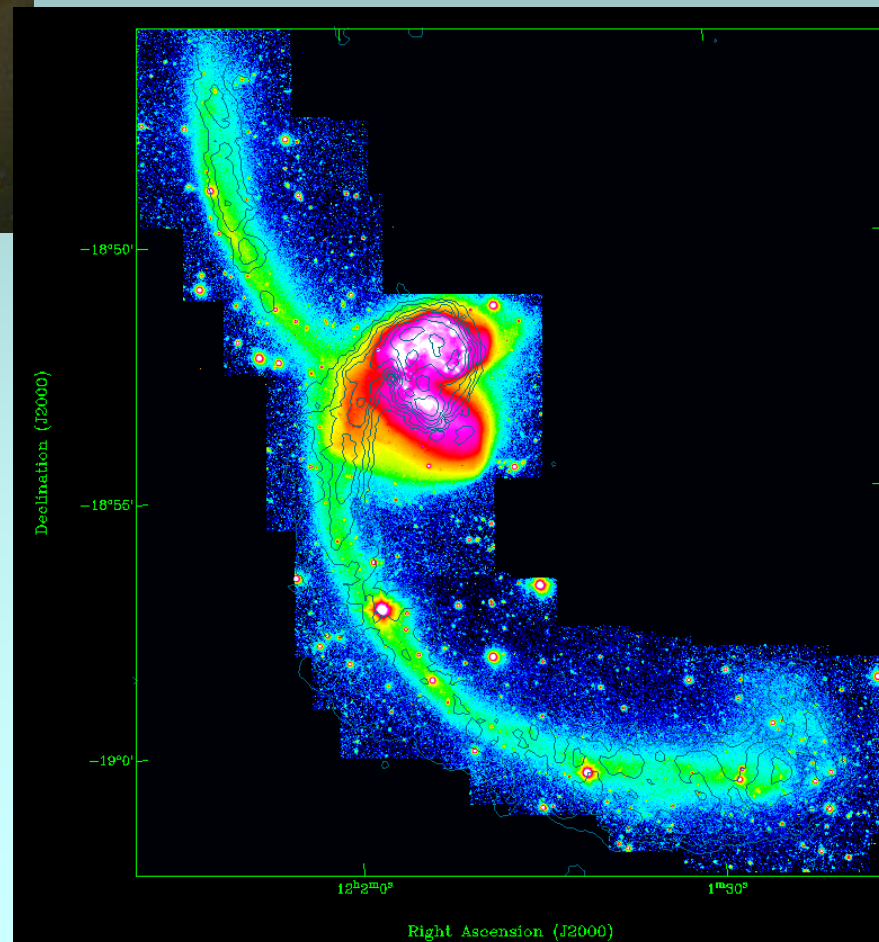




Les Antennes HST  
formation d'amas denses  
d'étoiles

Les Antennes,  
Hydrogène atomique

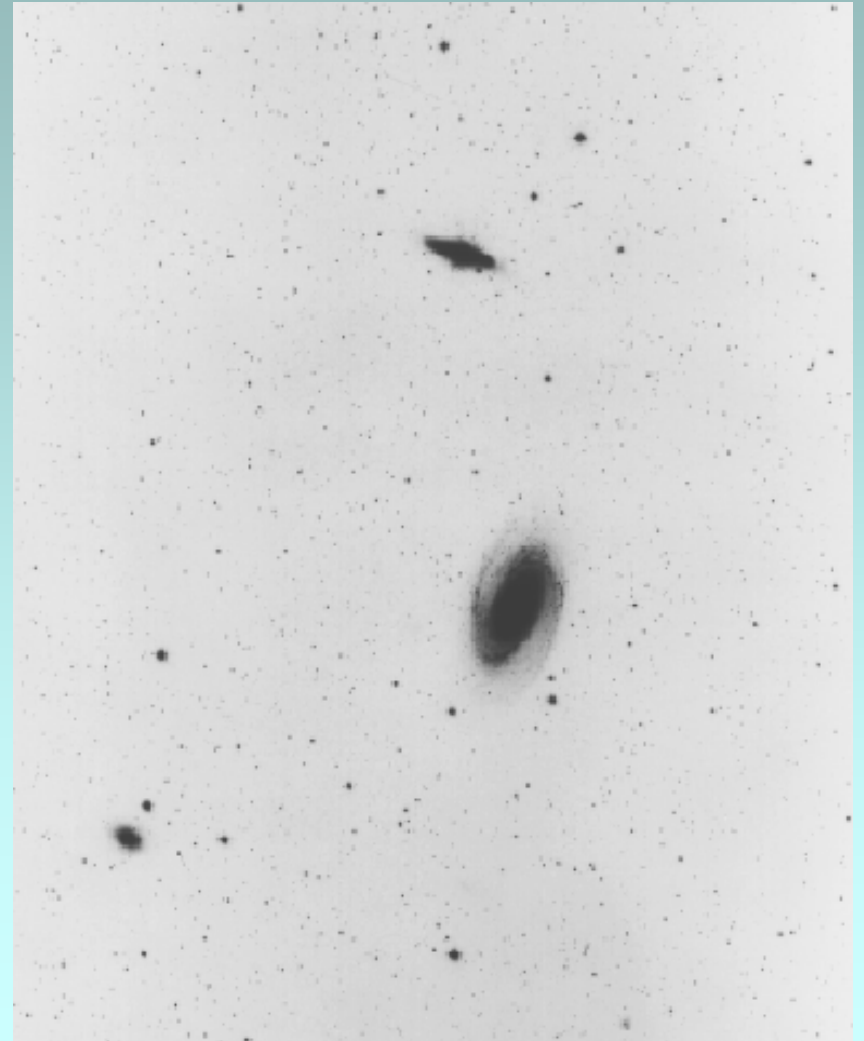
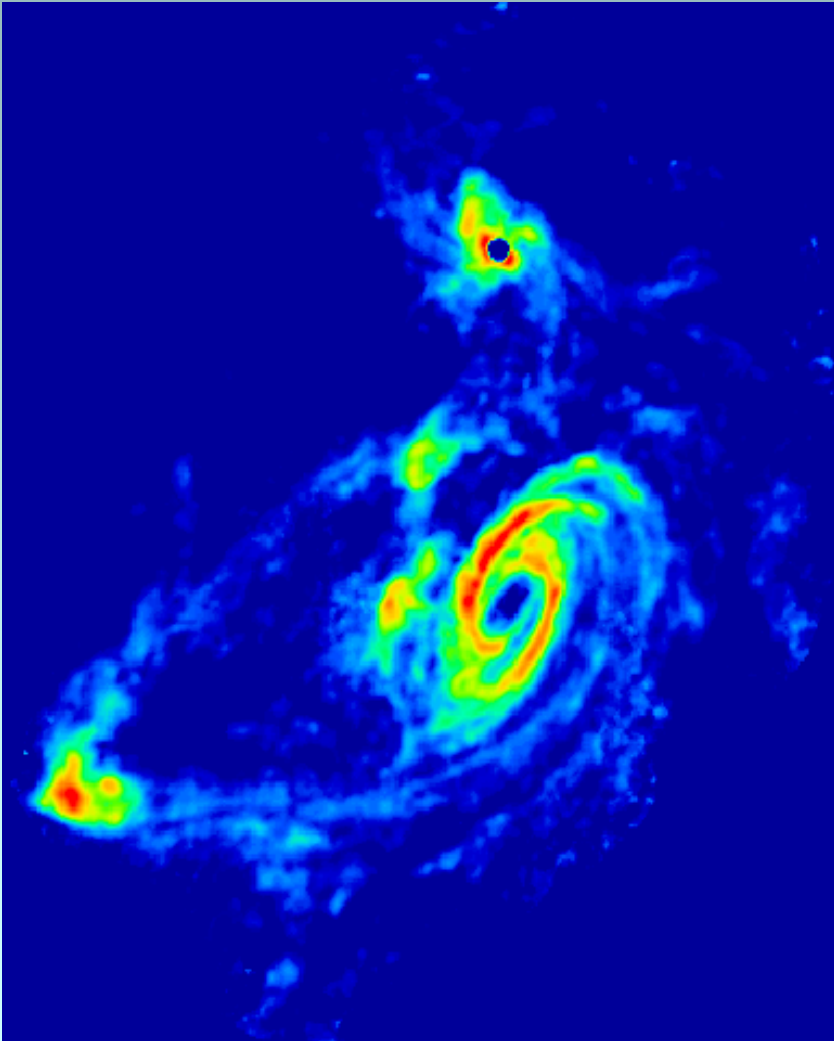
Et couleurs BVR



# Splash de gaz interstellaire

*Hydrogène atomique HI*

Messier 81, Messier 82, NGC 3077

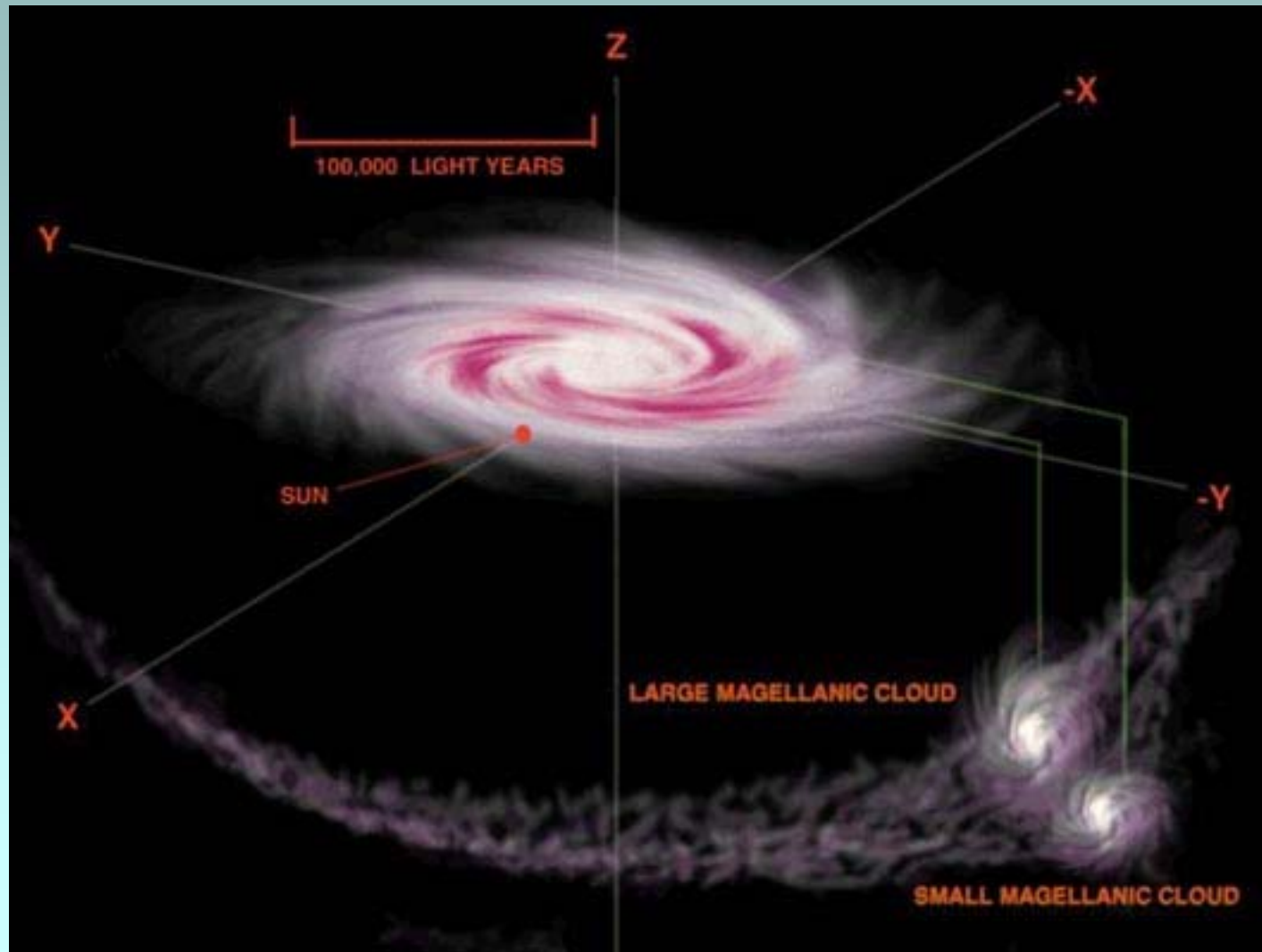




# Reconstitution de l'interaction Voie Lactée-Nuages de Magellan

Rapport de masse,  
de quelques %

Les Nuages avancent  
devant

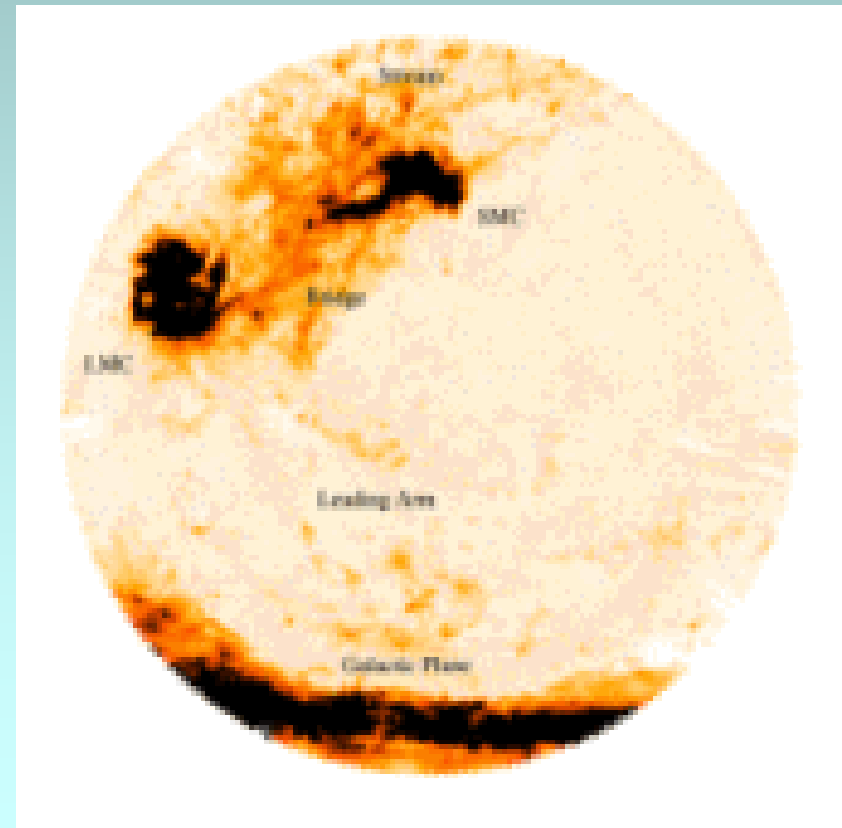
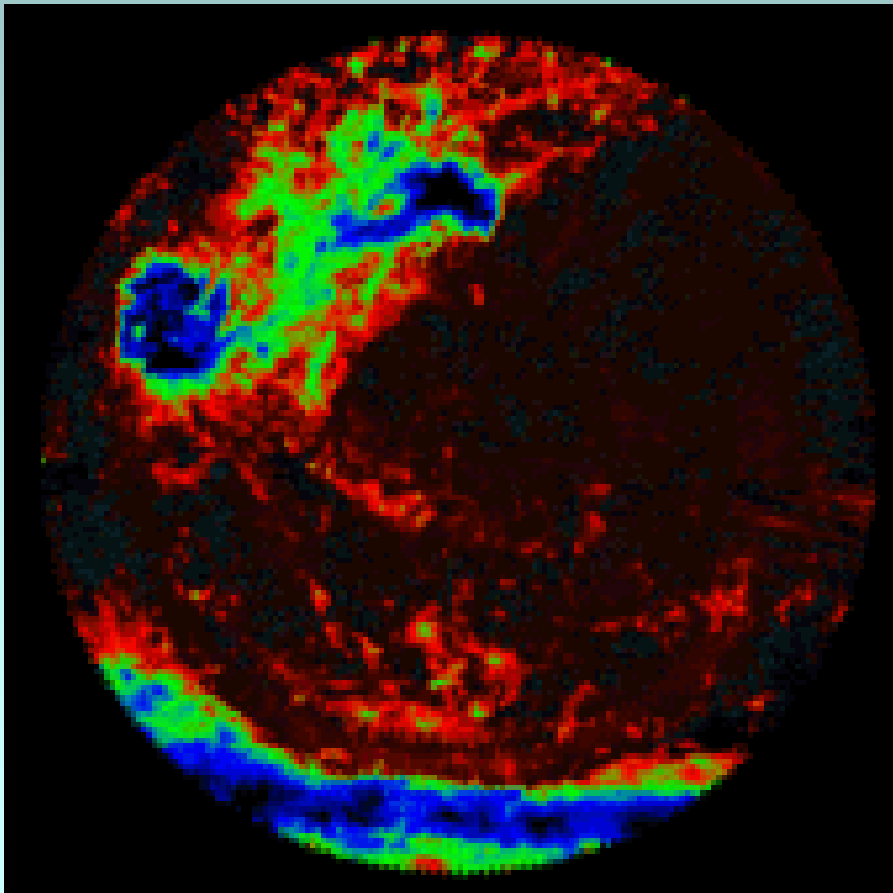


# Le Courant Magellanique

Détecté en hydrogène atomique

Autant de masse de gaz dans le courant que dans le Petit Nuage SMC

Le gaz doit avoir été aspiré du Petit Nuage, selon les simulations



# Nuages à grande vitesse tombant sur la Galaxie

Origine encore inconnue

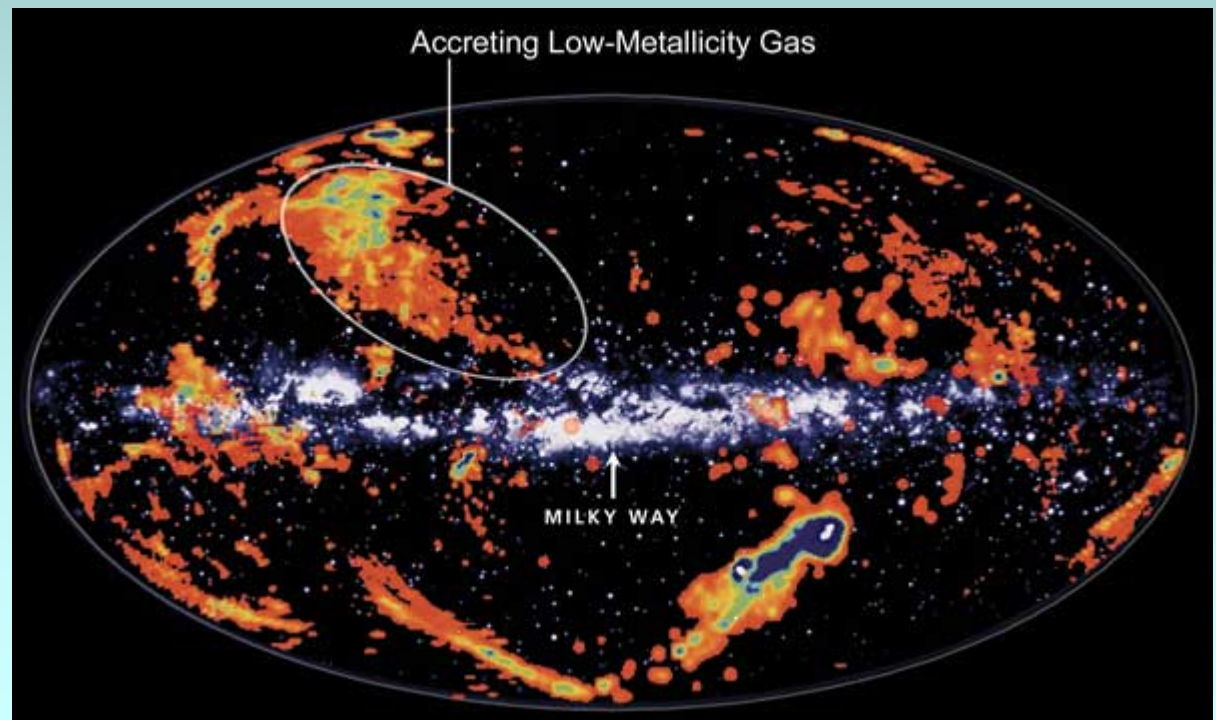
Leur masse dépend de leur distance

Résidus de la formation du Groupe Local?

Ou juste chute des Nuages de Magellan?

Origines multiples

Aussi, effet fontaine après formation de supernovae..





# Interaction avec Andromède

La galaxie la plus massive du Groupe Local, comparable à la Voie Lactée, n'est qu'à 2 millions-al  
Elle se dirige vers nous à 300km/s

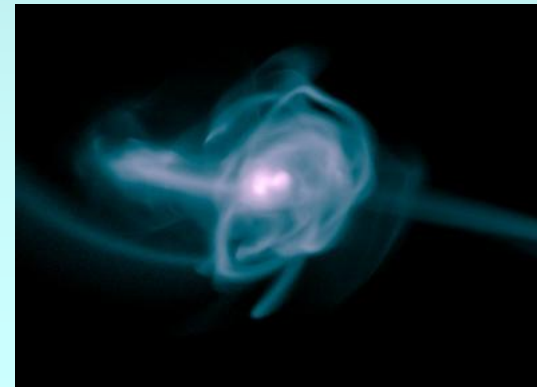
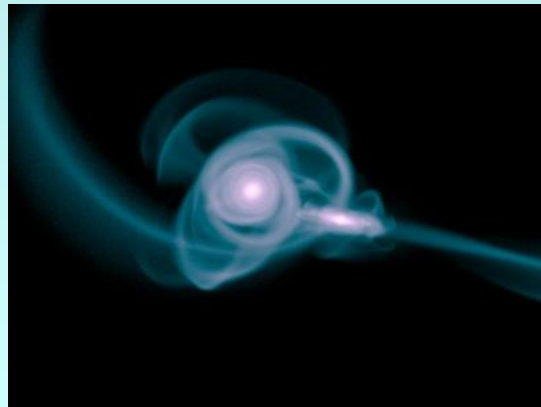
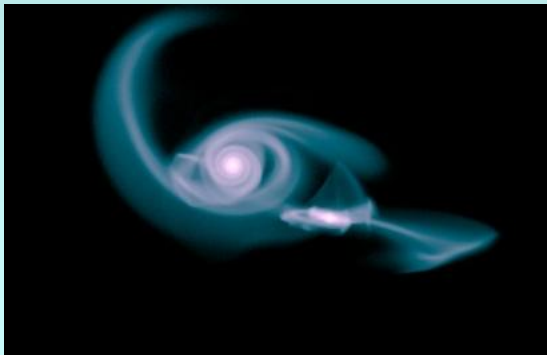
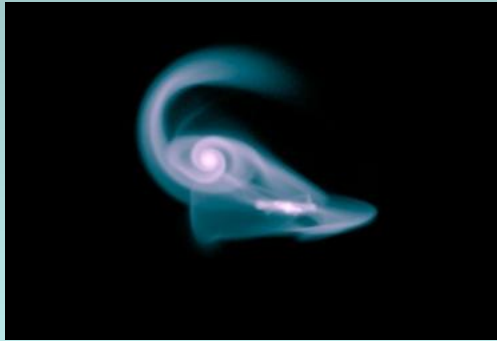
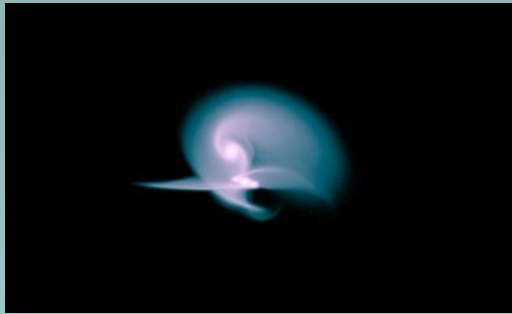
Sur la base de sa vitesse radiale, le temps d'approche est de 2 milliards d'années

**Mais sa vitesse tangentielle est inconnue**

Bientôt des mouvements propres avec le satellite GAIA



# Simulations de la rencontre avec M31





# M31 et La Voie Lactée



La Voie Lactée  
en infra-rouge

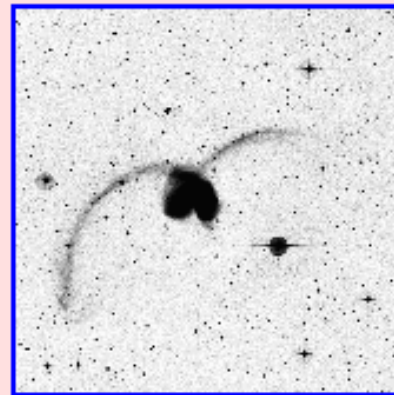




Low Mass Dark Halo

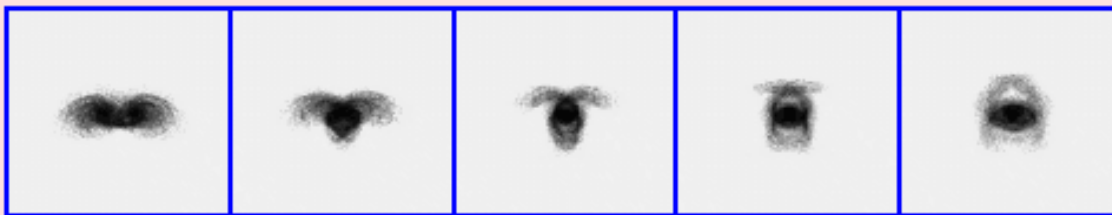


200 million years

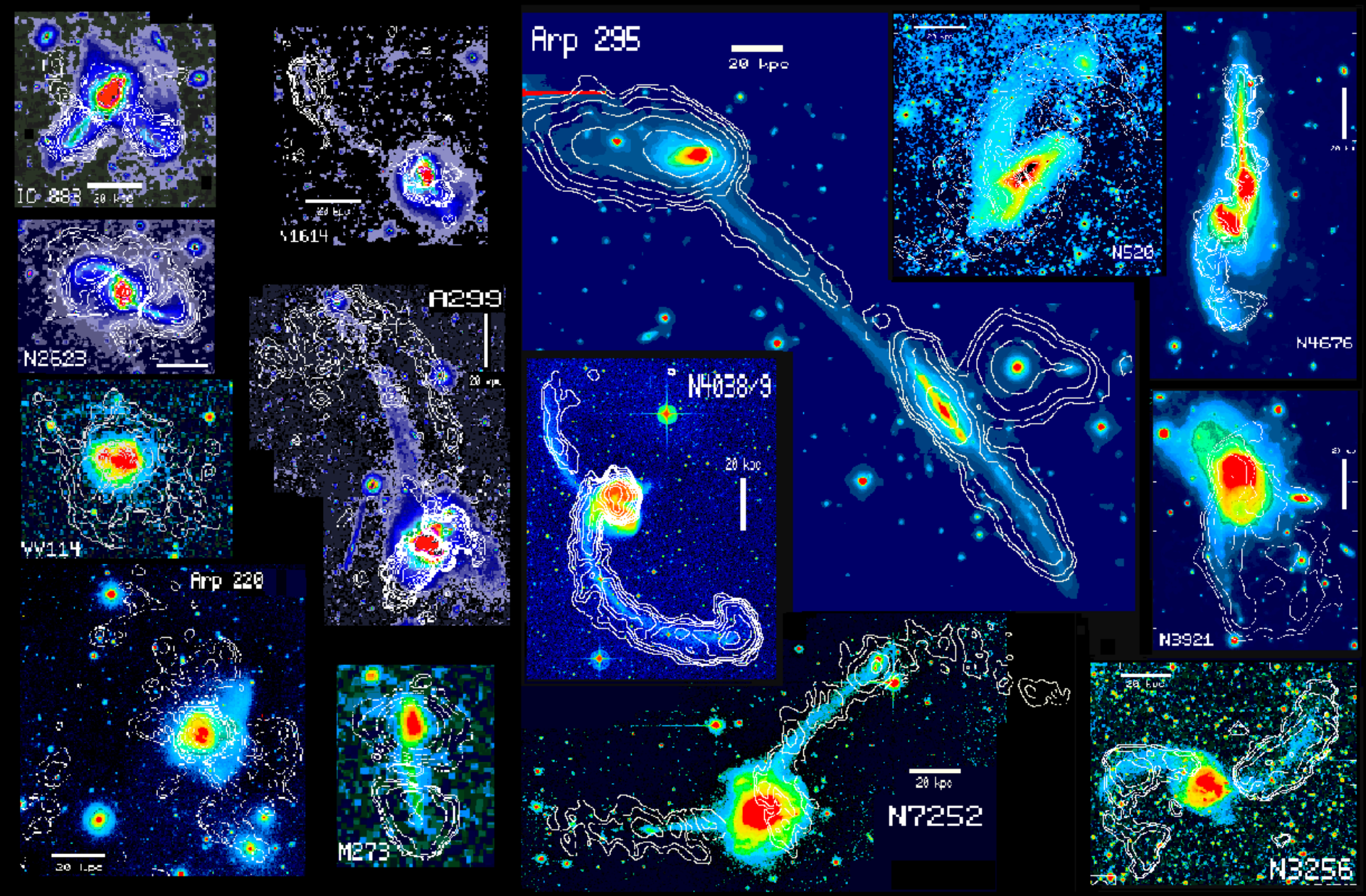


500,000 light-years

High Mass Dark Halo



Simulations  
numériques  
La longueur des  
queues de  
marée contraint la  
quantité de matière  
noire  
et surtout sa  
concentration

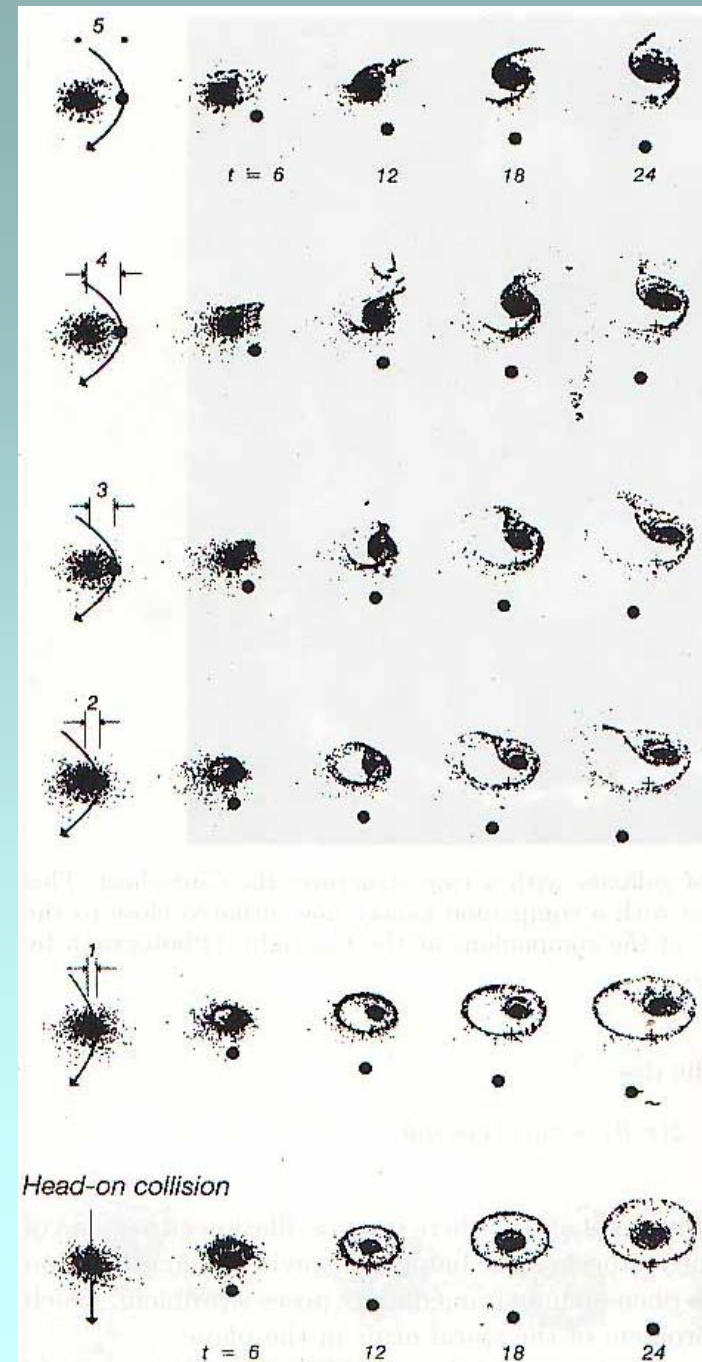
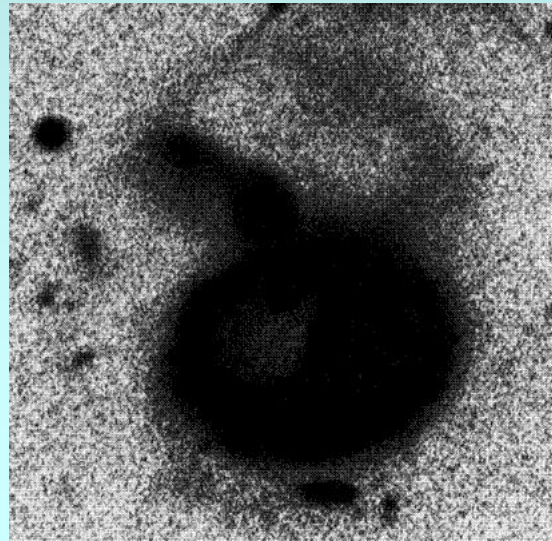
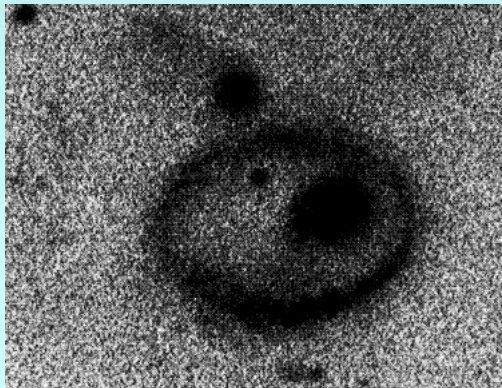
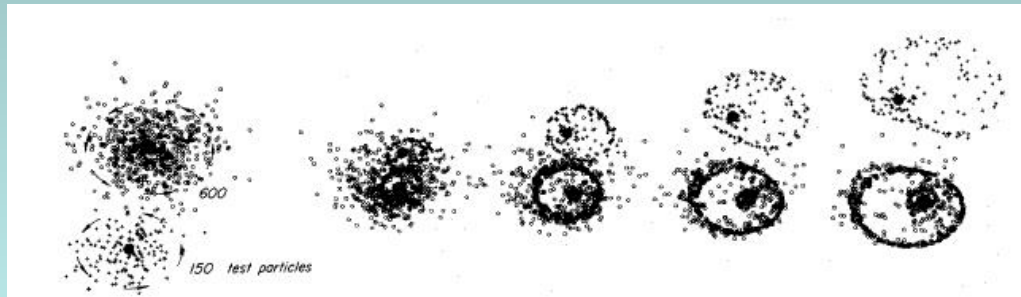


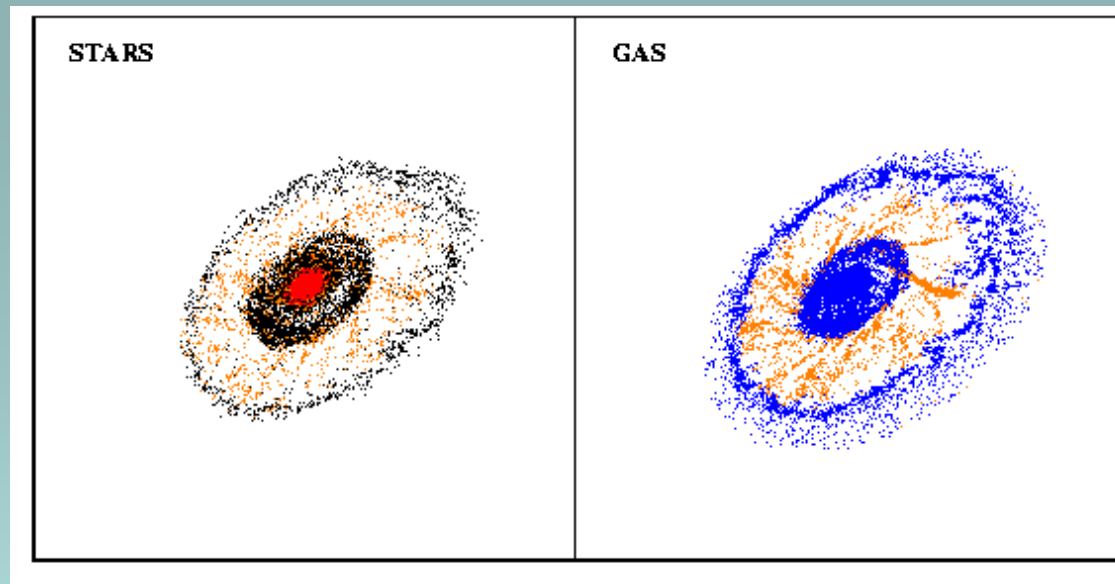
Ensemble de fusions de galaxies



# Galaxies en anneau

Lorsque la collision est de plein fouet, les deux bras spiraux s'enroulent en anneau: onde de densité concentriques

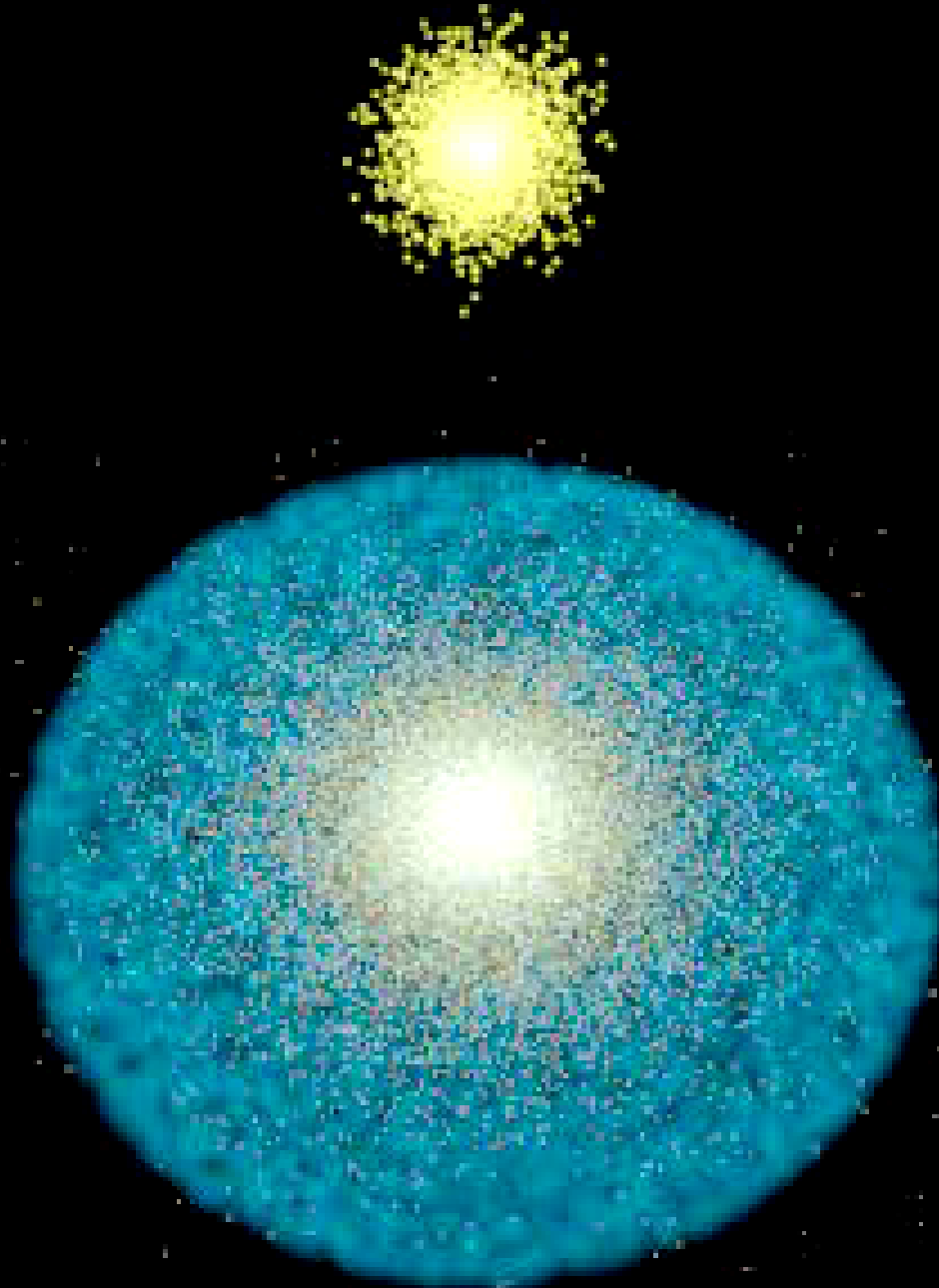




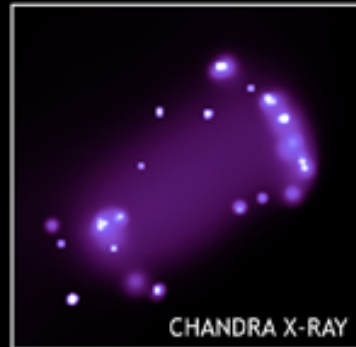
Les anneaux sont décentrés, et ne peuvent se confondre avec les anneaux résonants dans les galaxies barrées

De même, un autre phénomène: les **anneaux polaires** (une fois vus de face..)





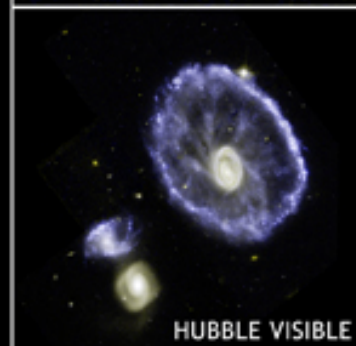
CARTWHEEL GALAXY



CHANDRA X-RAY



GALEX ULTRAVIOLET



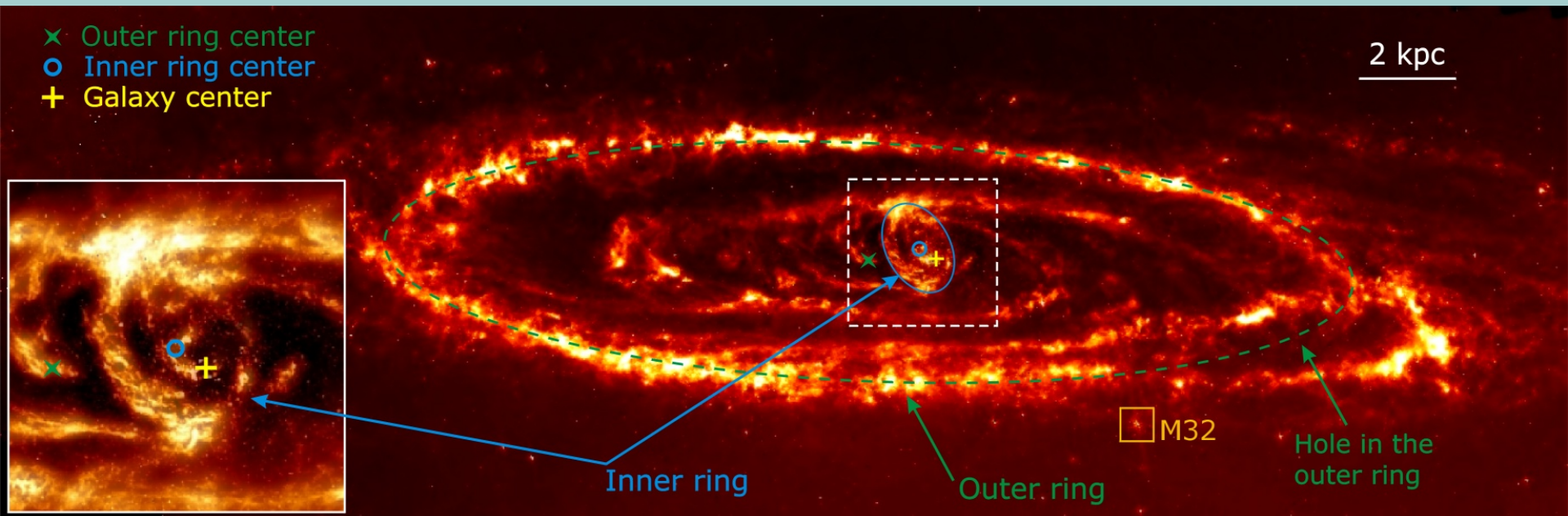
HUBBLE VISIBLE



SPITZER INFRARED

# La galaxie d'Andromède (M31)

Infra-rouge, invisible dans le domaine usuel → anneaux



Poussières, anneau interne 40% offset

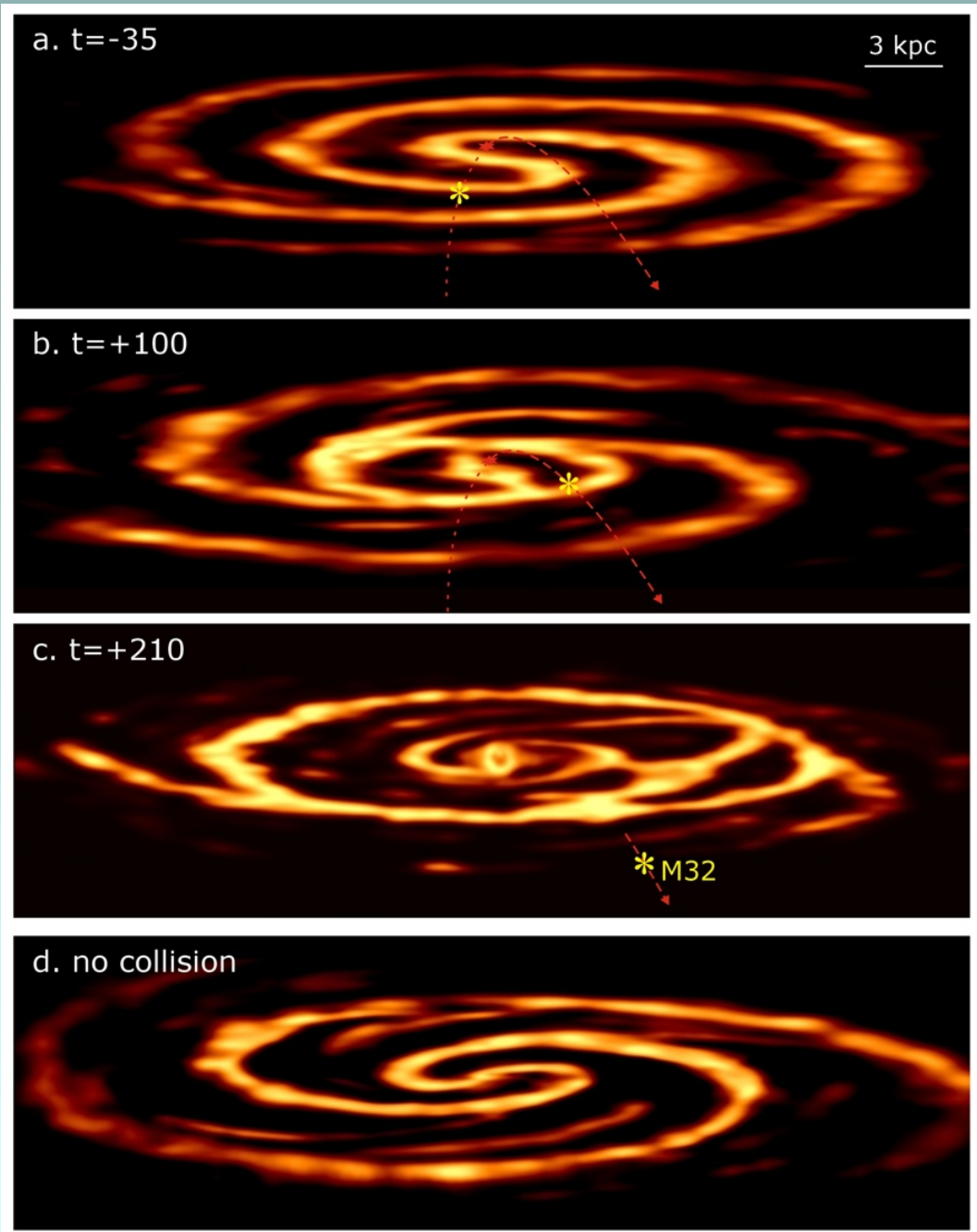


# Simulation numérique

Une galaxie spirale  
barrée initialement

Puis collision  $2 \cdot 10^6$  ans

Rapport de masse 1/13







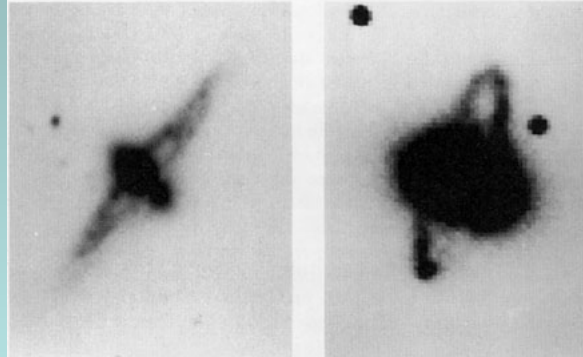
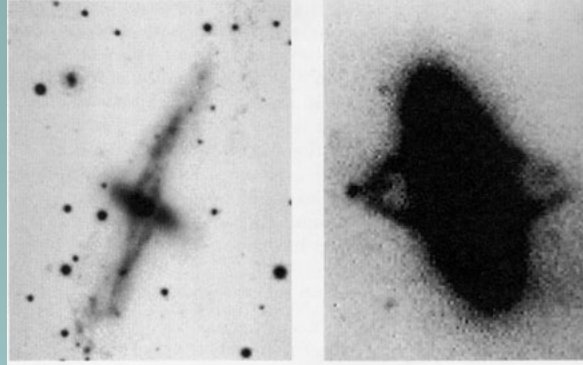
## Formation des anneaux polaires

soit par fusion de galaxies  
soit par accrétion de gaz

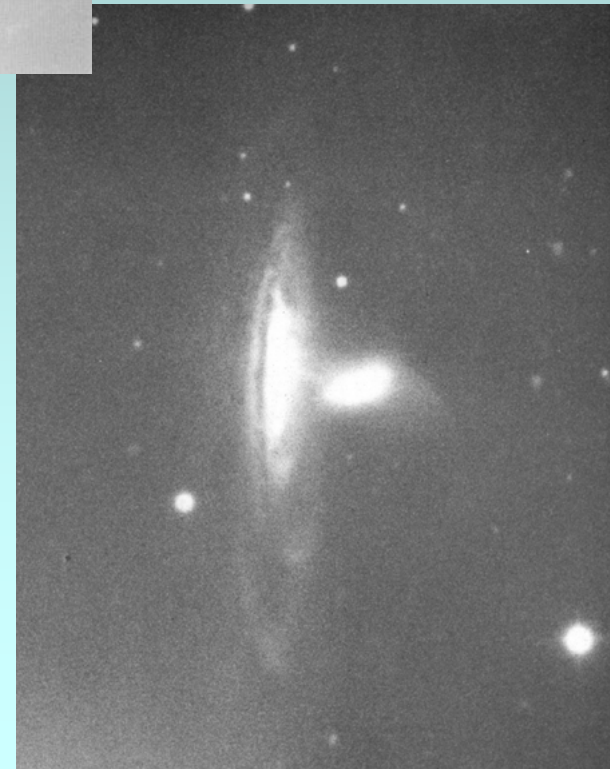


# Formation des Anneaux Polaires

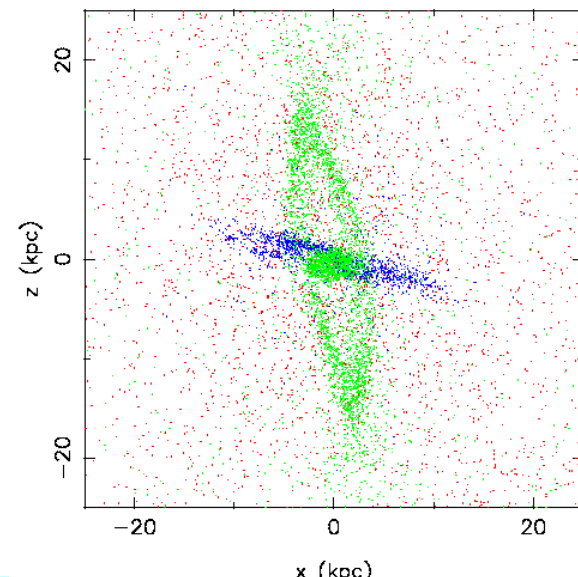
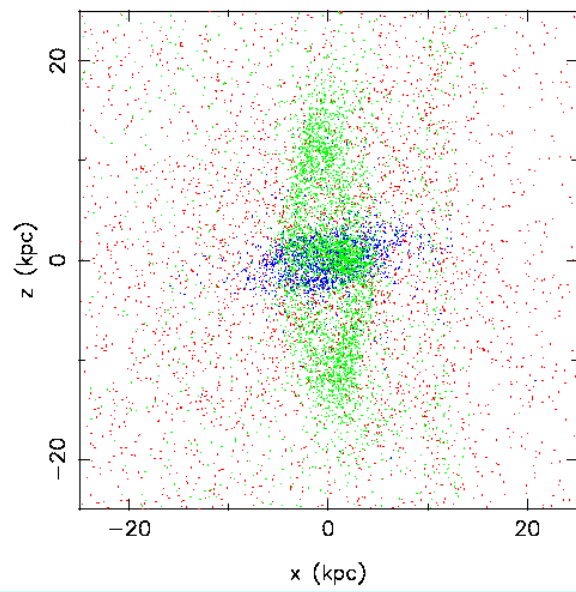
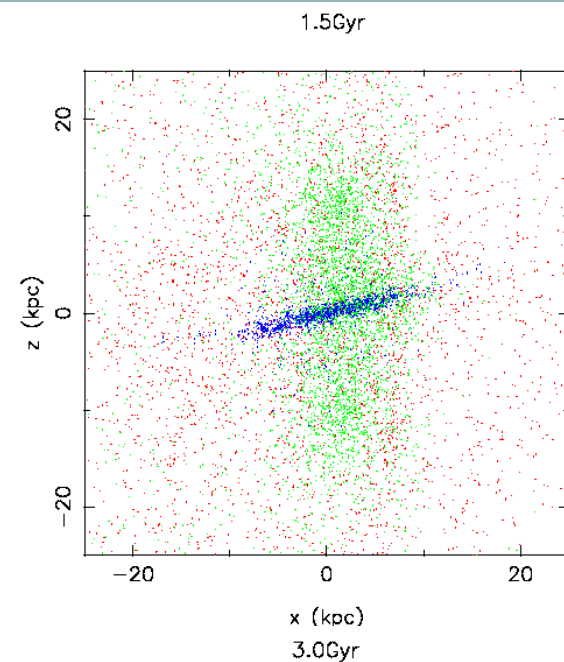
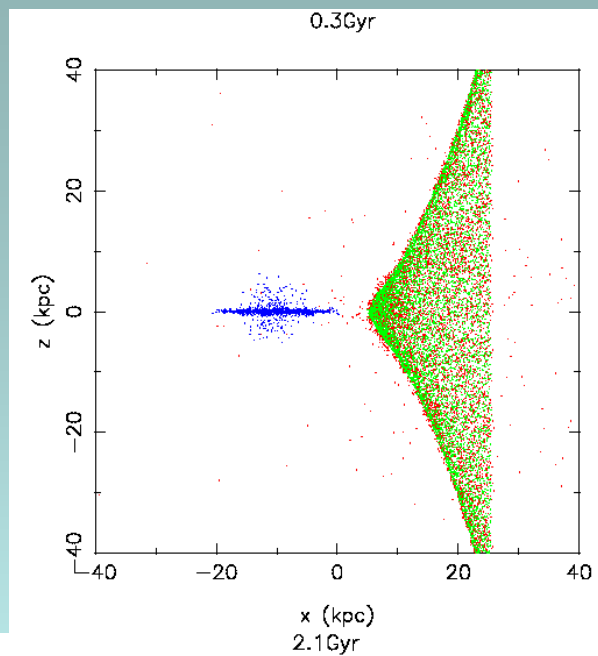
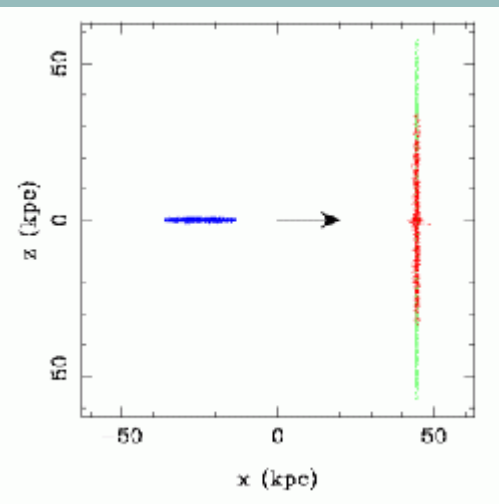
Par accrétion?



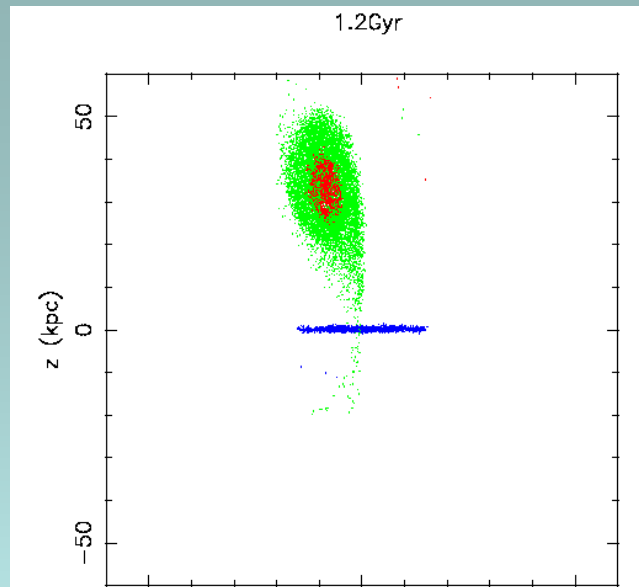
Par collision?



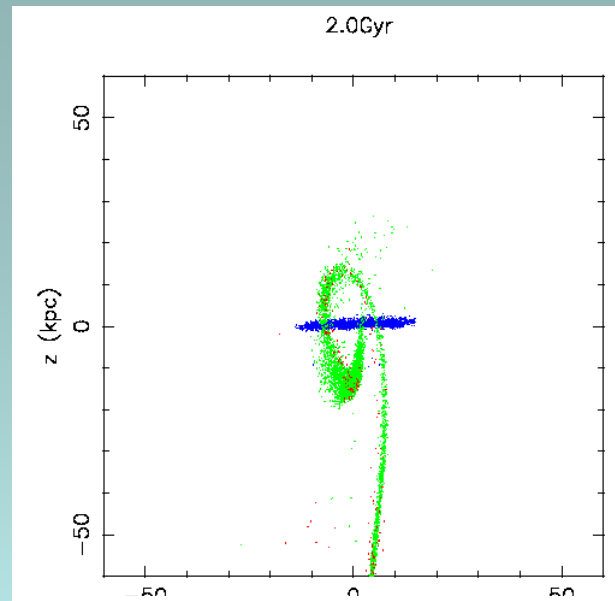
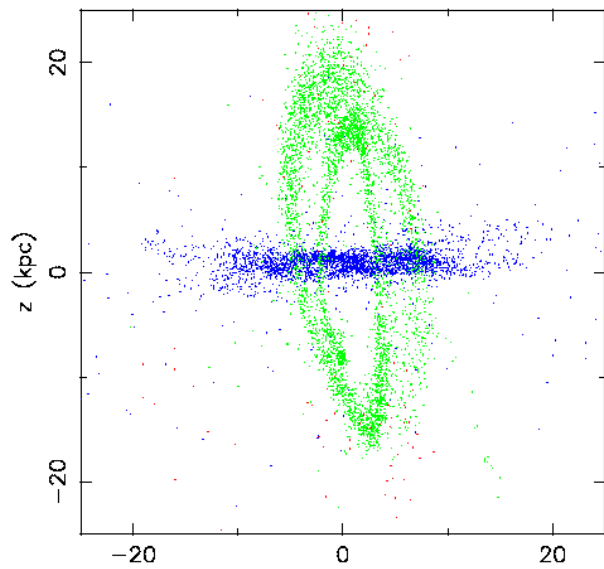
# Formation par collision



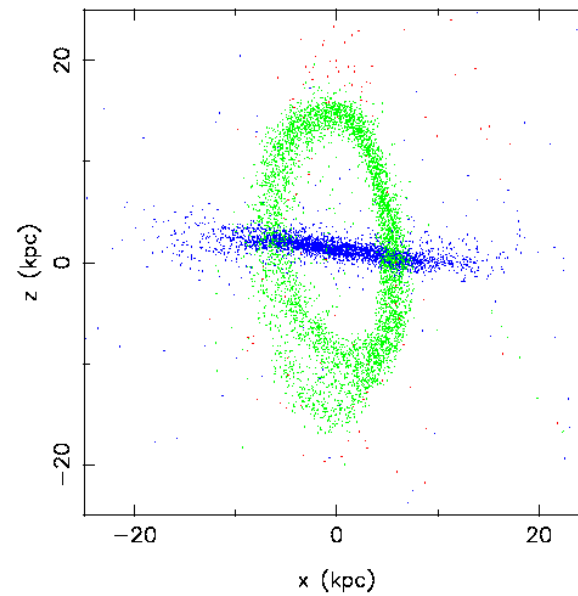
# Formation par accrétion



3.2Gyr

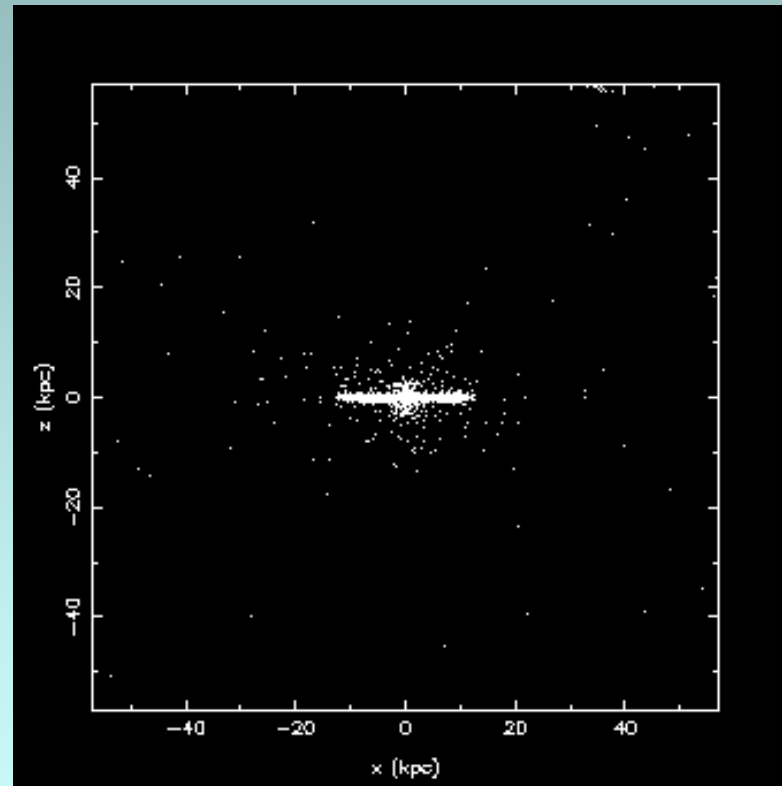


4.4Gyr





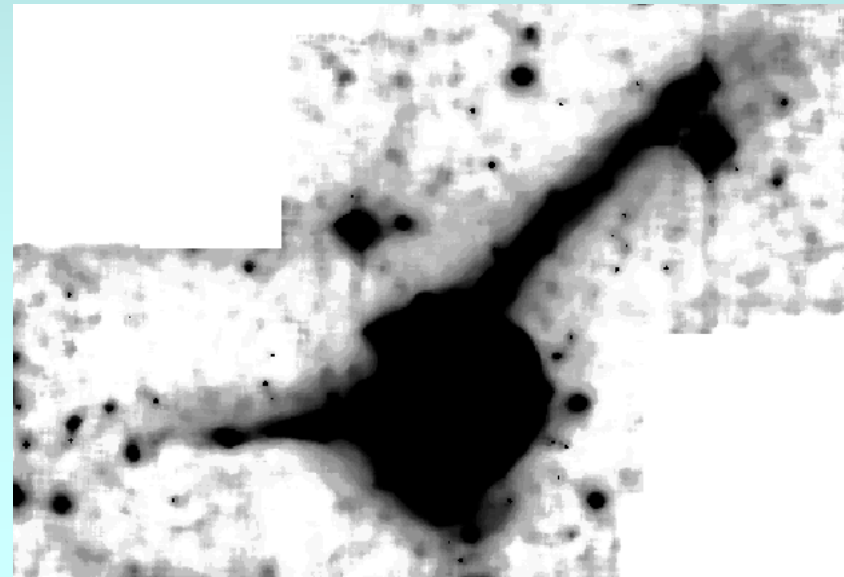
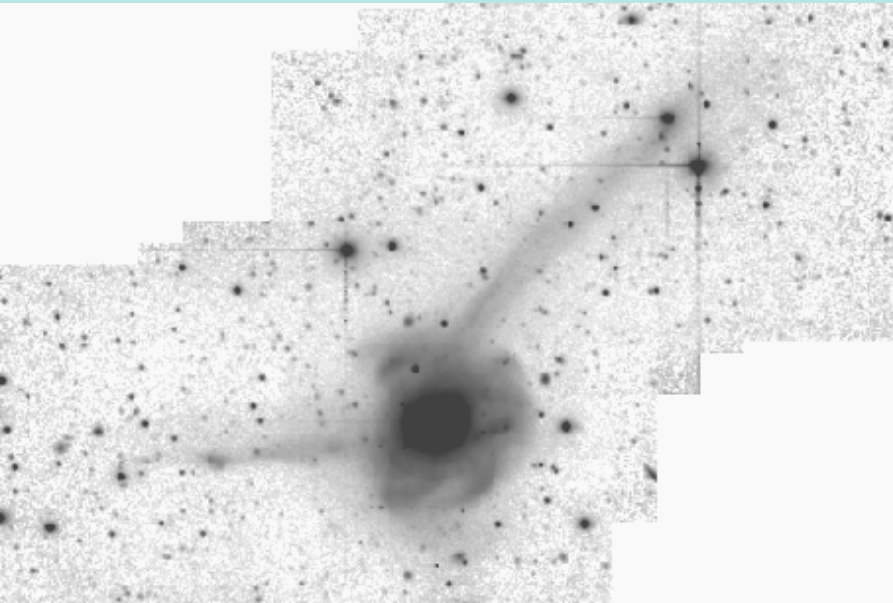
# Formation d'un anneau polaire



# Formation des Elliptiques par fusion

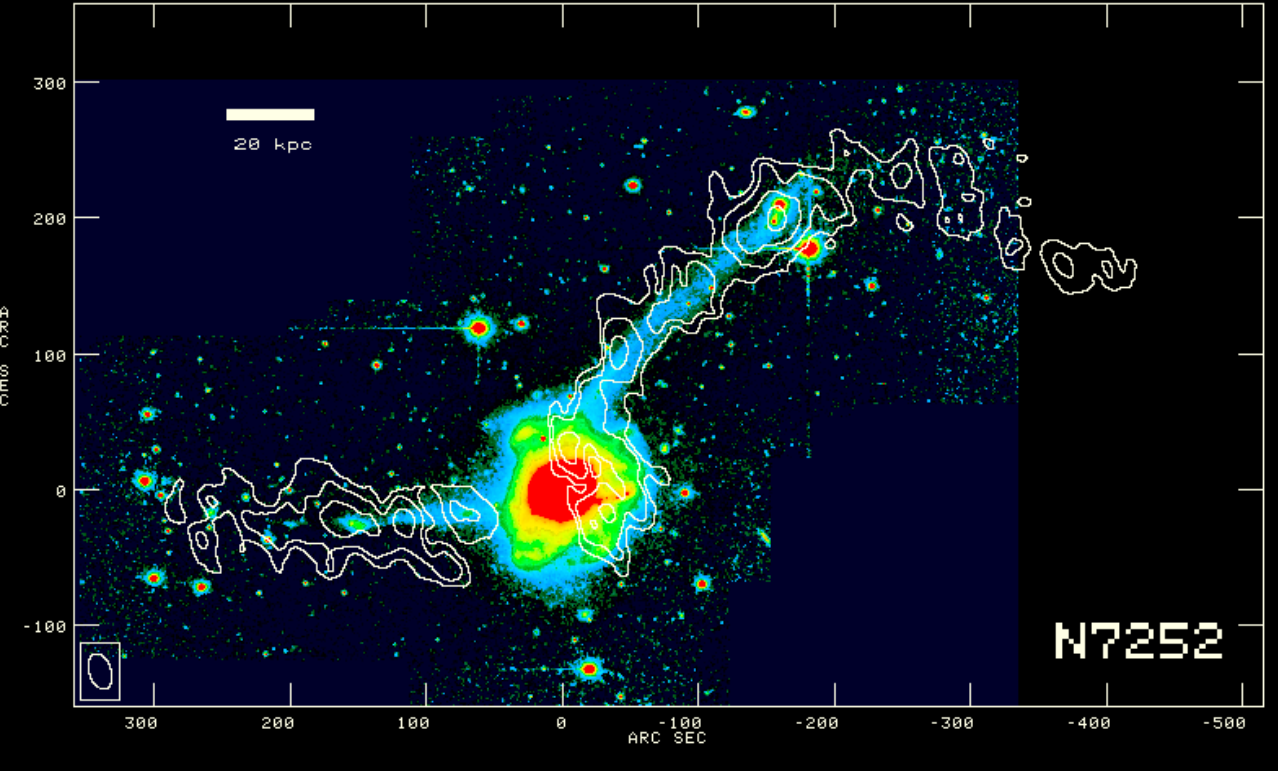
Fusion de spirales de masse comparable  
mais aussi beaucoup de masses plus petites

NGC 7252

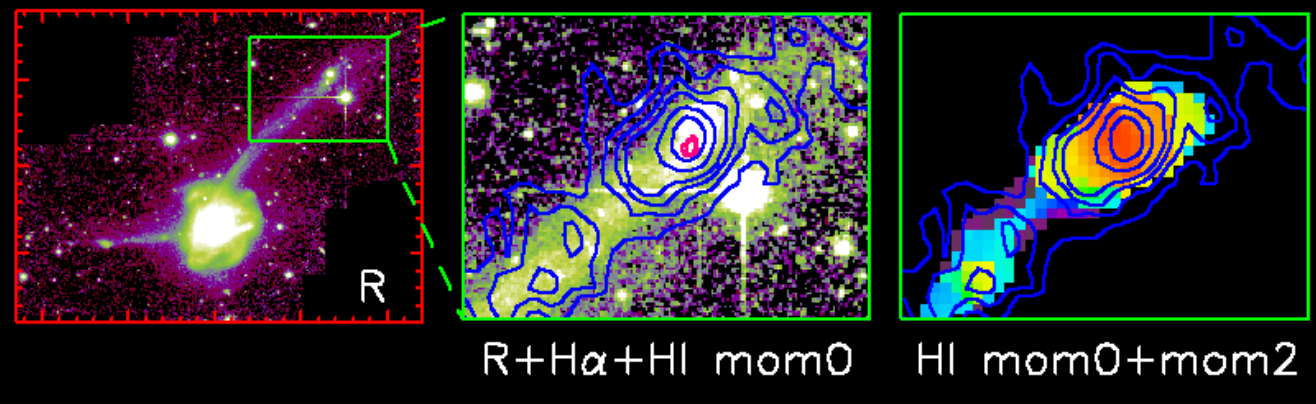


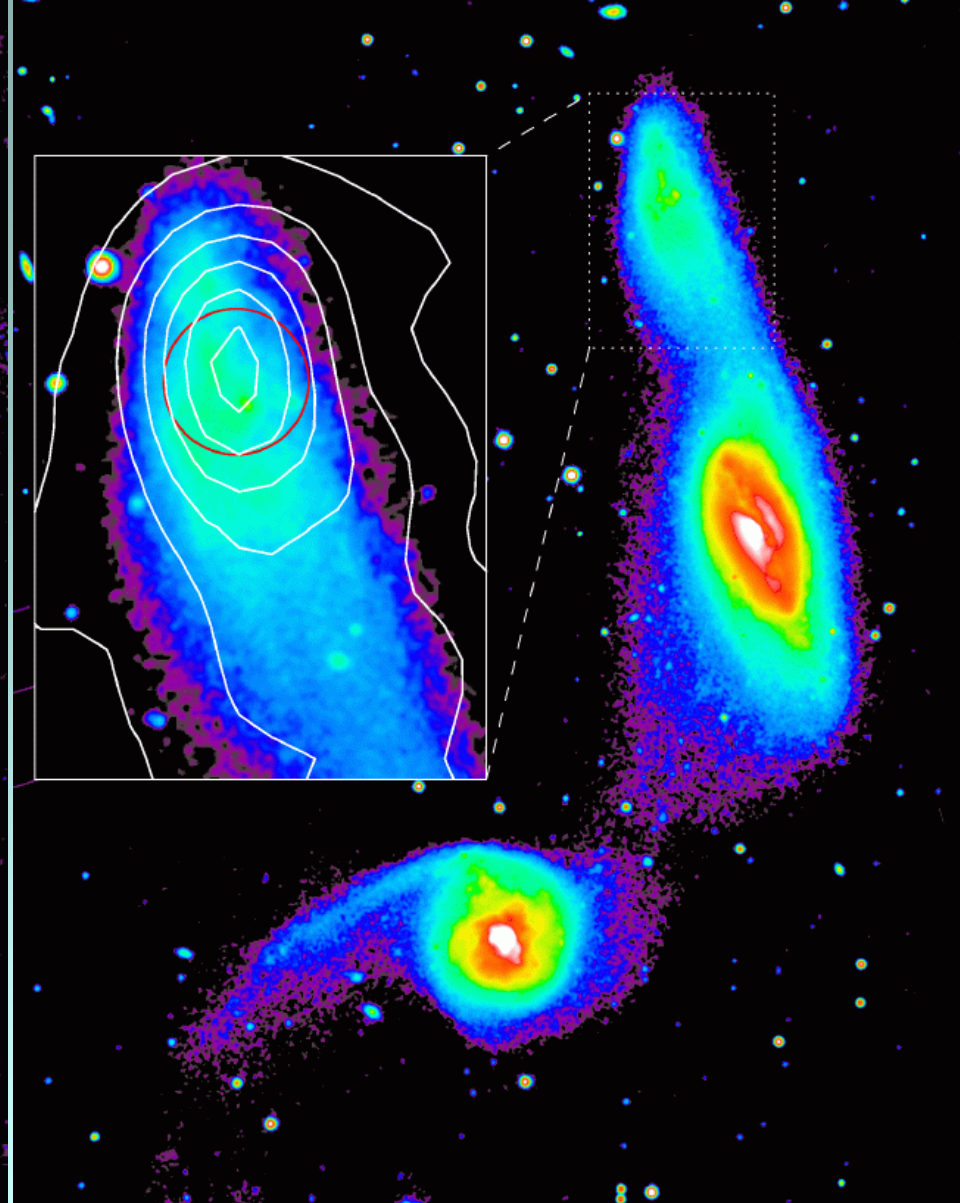
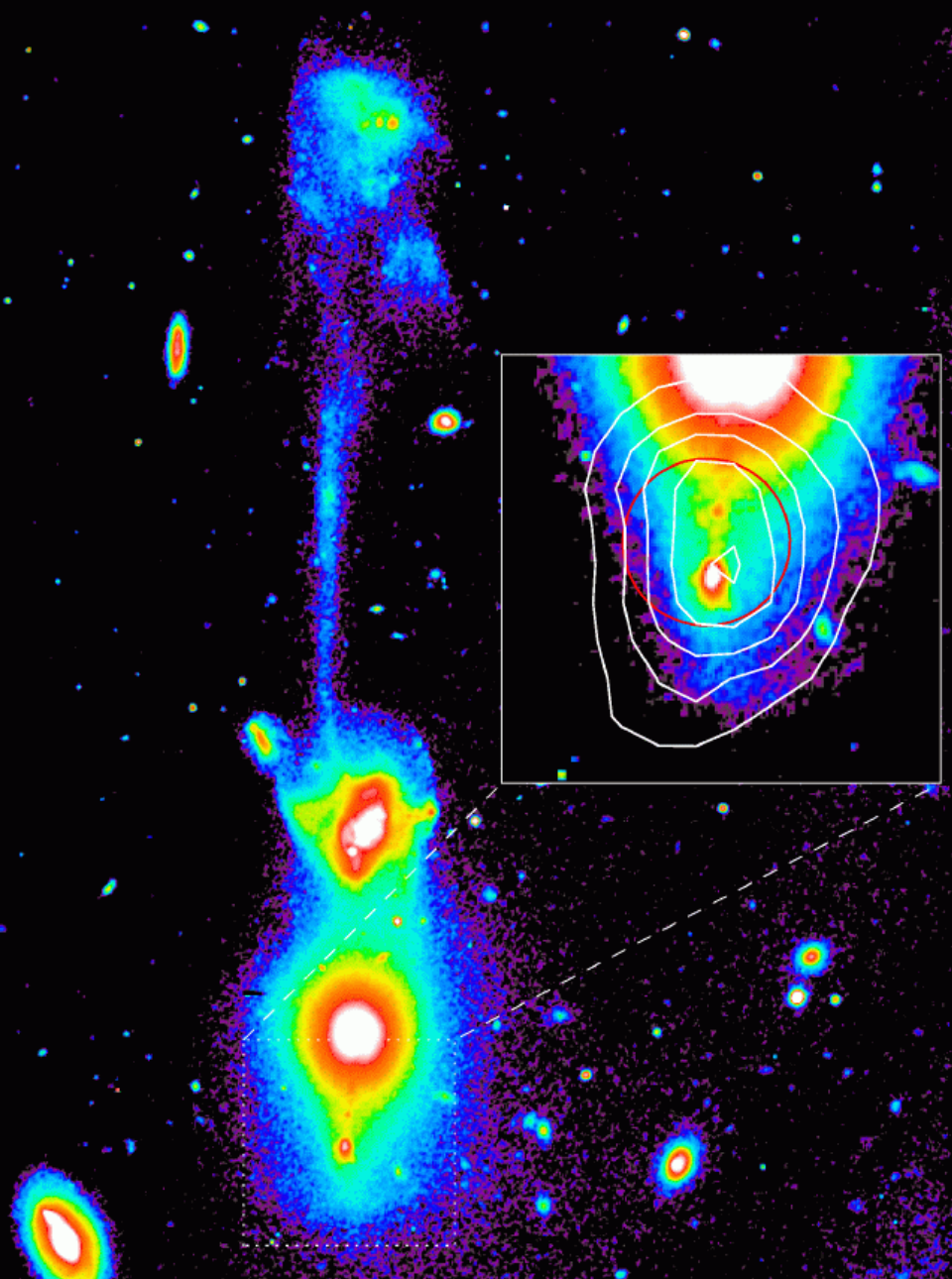
Gaz d'hydrogène  
interstellaire

Formation de naines  
de marées



NGC 7252 Tidal Dwarf





La guitare (Arp 105)





## 5. Dwarf Formation



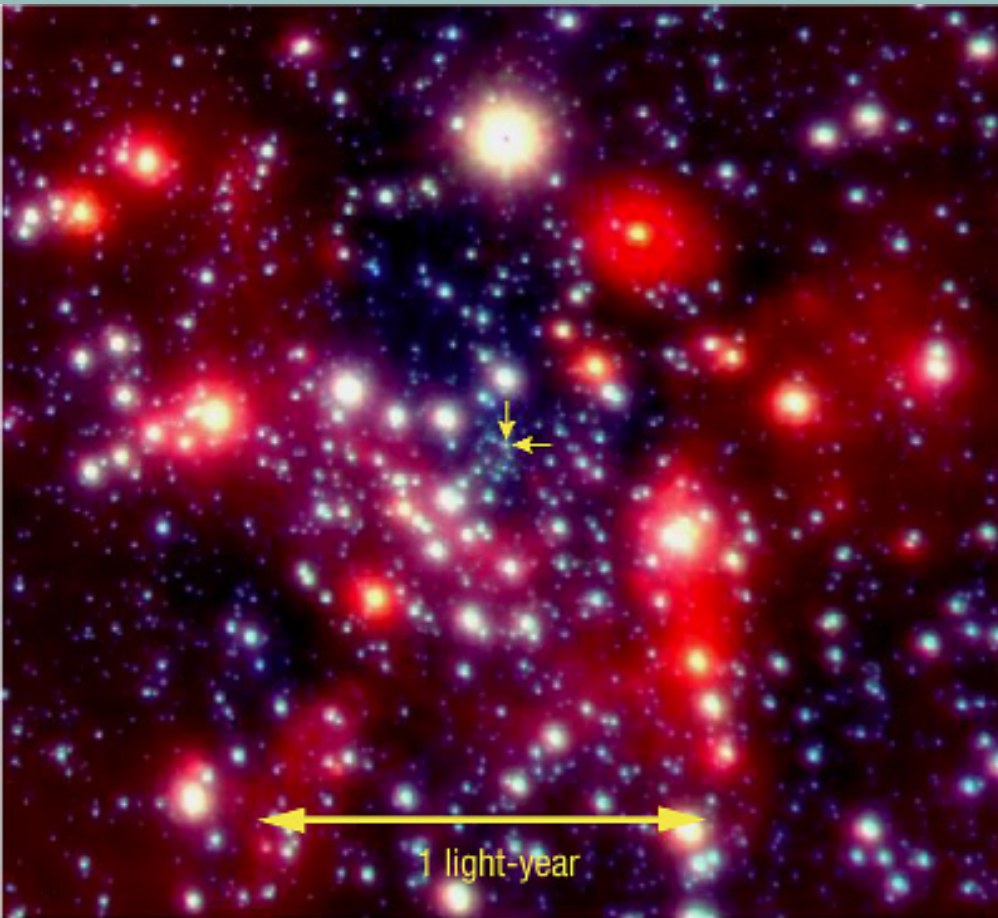
# Formation de trous noirs massifs

- Existence de trous noirs de quelques milliards de  $M_{\text{sol}}$

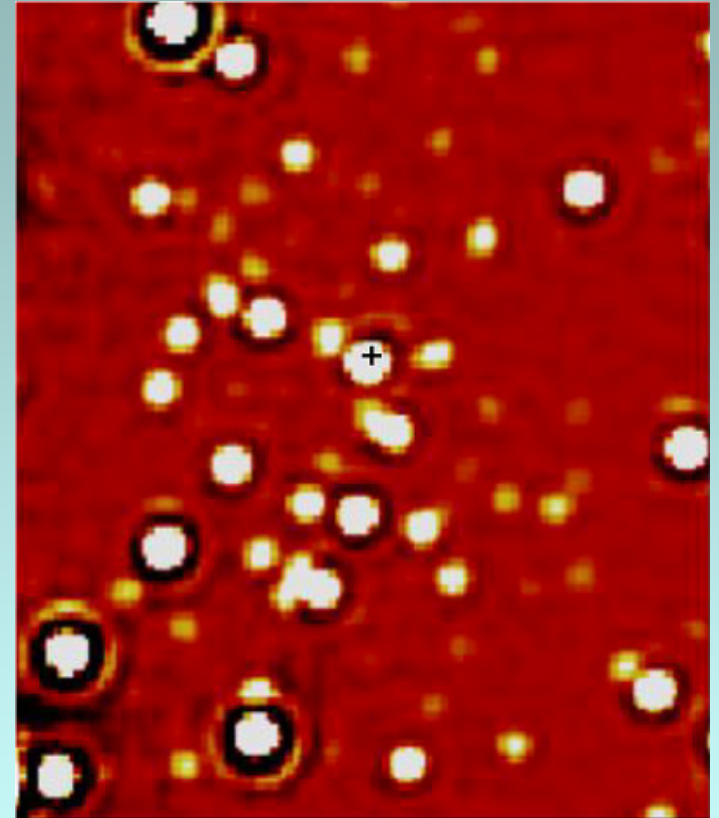
## Phénomène de Noyaux Actifs de Galaxies

- **Quasars** (ou quasi-stars, car objets ponctuels, très loin)  
**1000 fois** la luminosité de la Voie Lactée
  
- Rendement exceptionnel de l'énergie gravitationnelle **10%  $Mc^2$**   
Alors que le rendement nucléaire dans les étoiles  $< 1\%$

# Astrométrie et mouvements propres au centre galactique



The Centre of the Milky Way  
(VLT YEPUN + NACO)



The Centre of the Milky Way (detail)  
(VLT YEPUN + NACO)

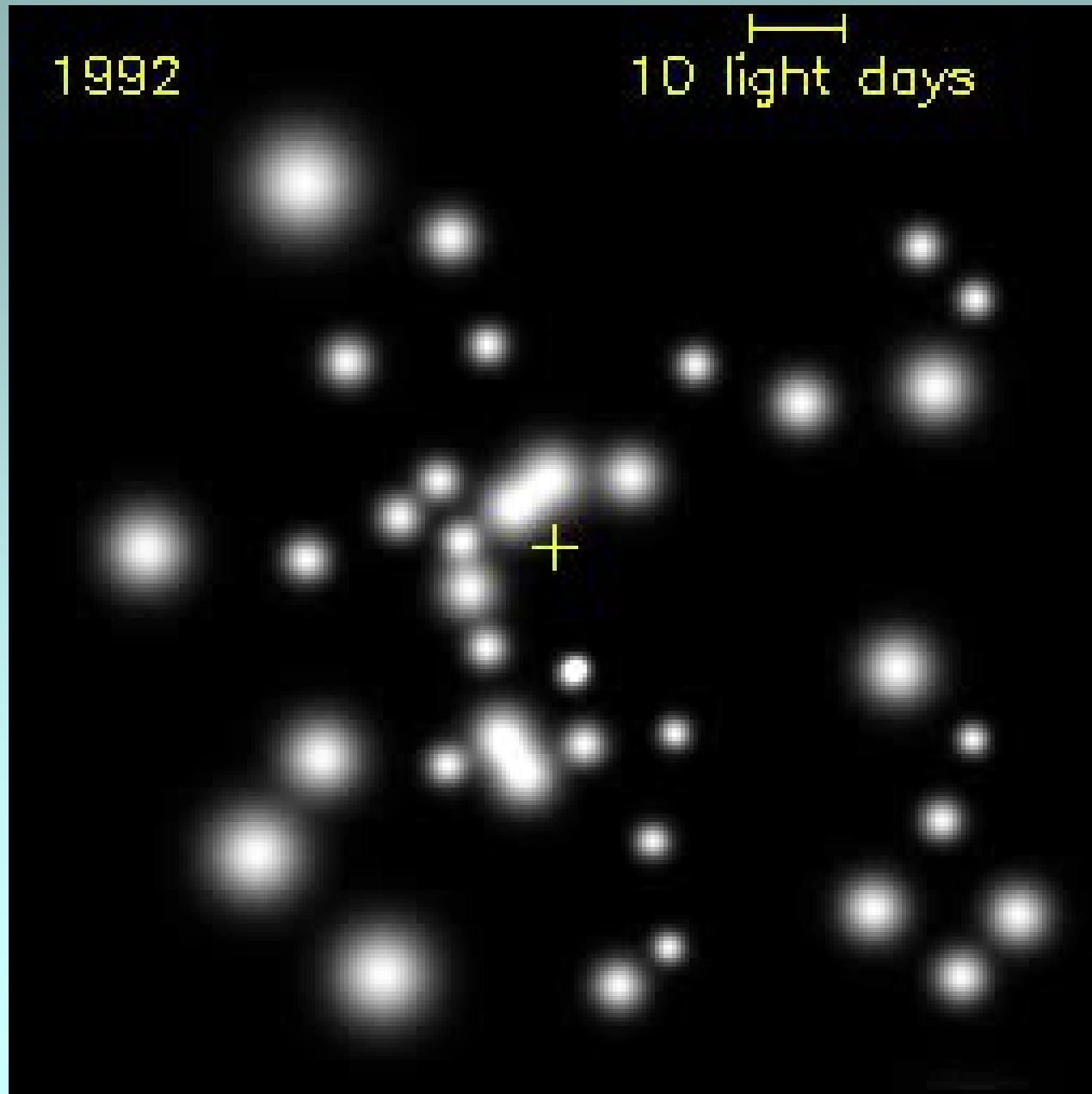




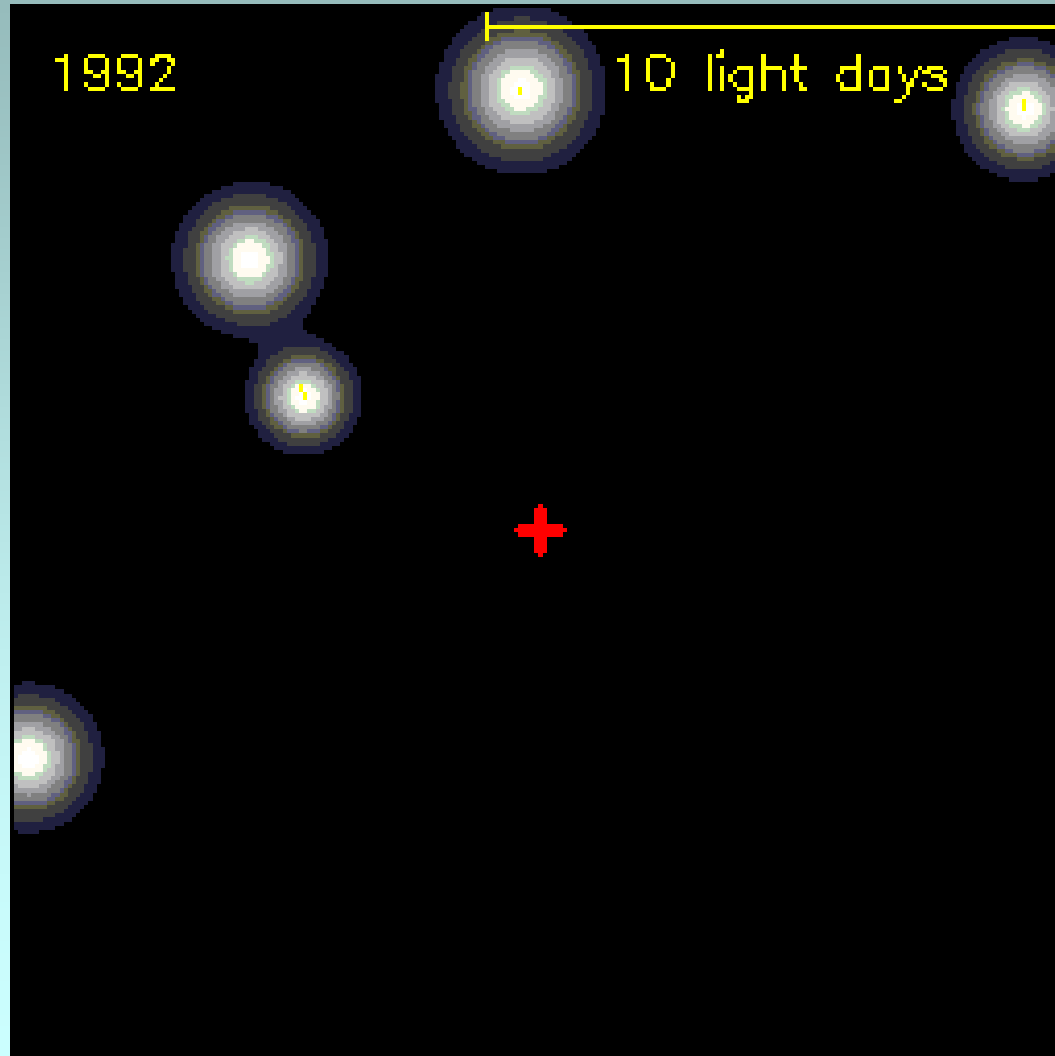
# Animation du mouvement des étoiles

Film obtenu  
par observations  
successives des  
étoiles

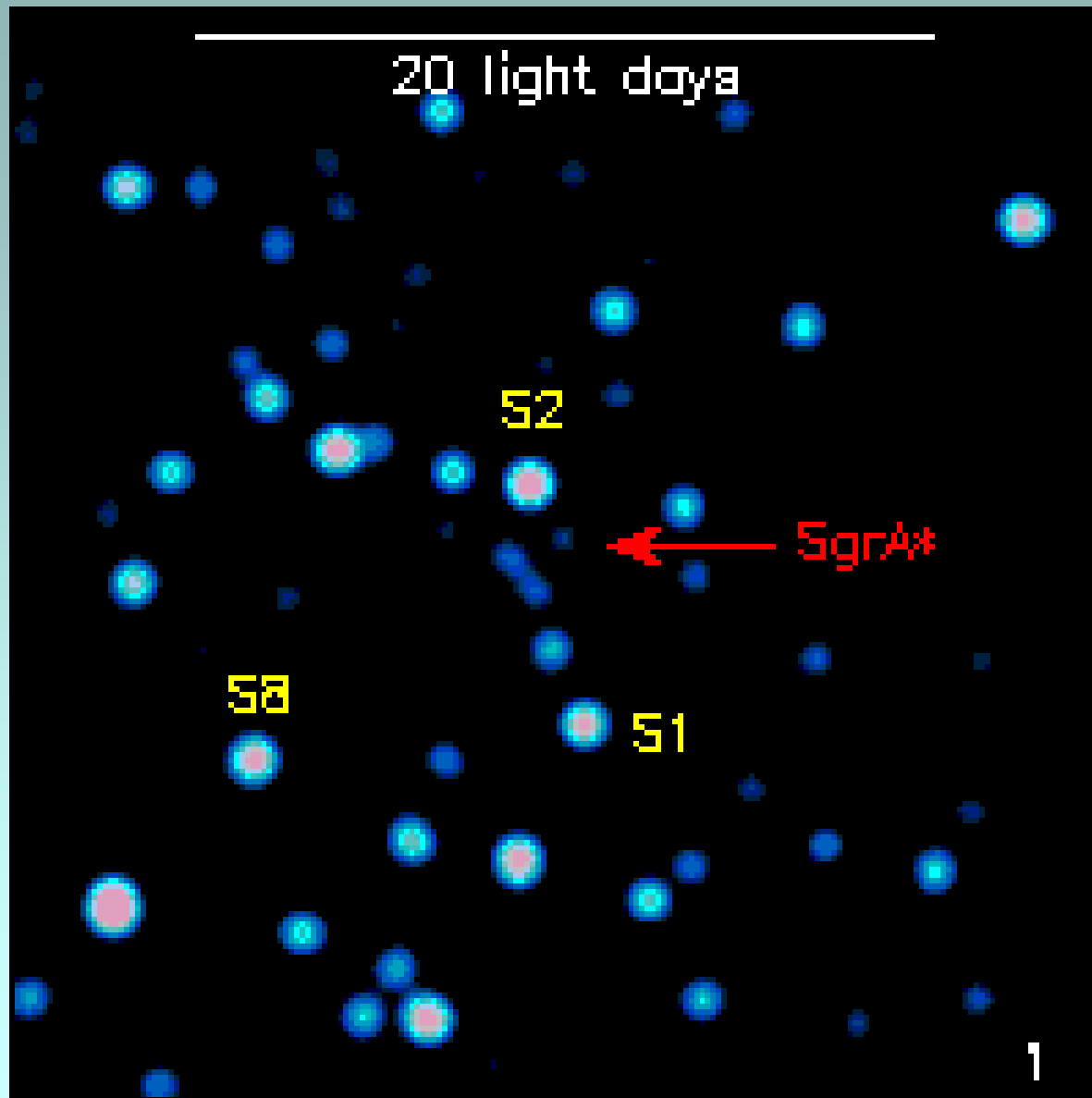
Ce n'est pas une  
Simulation!



# Animation du mouvement des étoiles, dans le centre de la Voie Lactée

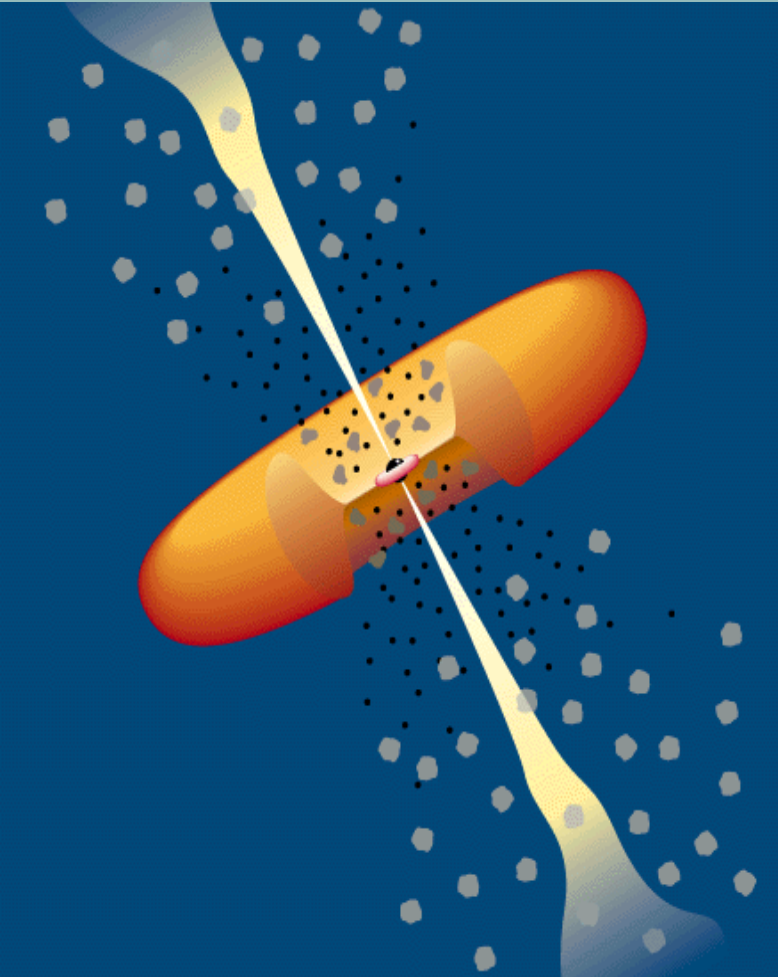


# Sursaut Infrarouge du trou noir de la Galaxie



1.7microns, NACO, VLT, 30min, May 2003

# Disques d'accrétion et Noyaux Actifs



Deux possibilités:

-seules de rares galaxies ont des trous noirs

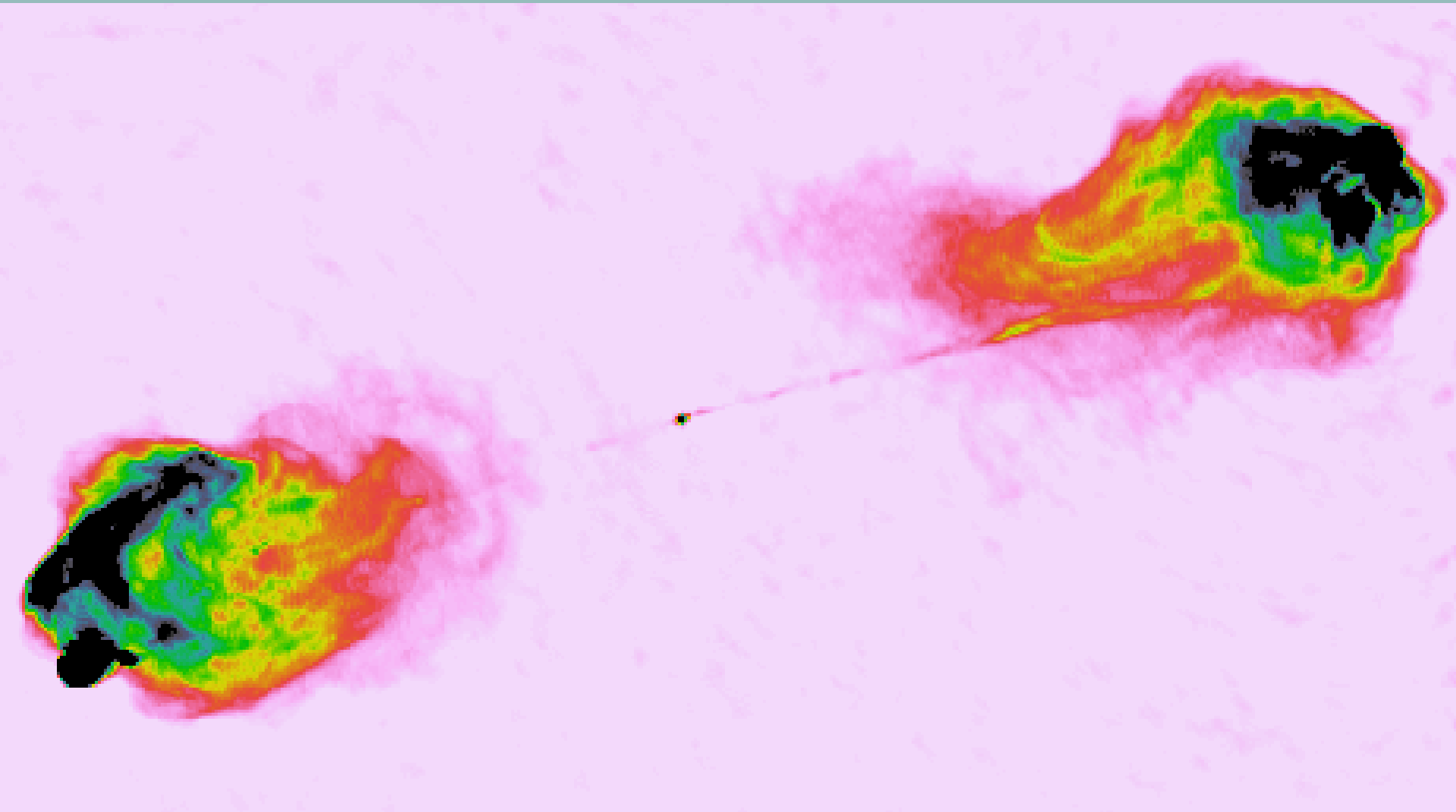
-toutes en ont mais la période active est courte, quelques 10 millions d'années

La masse du trou noir est proportionnelle à la masse du bulbe, 0.2 %

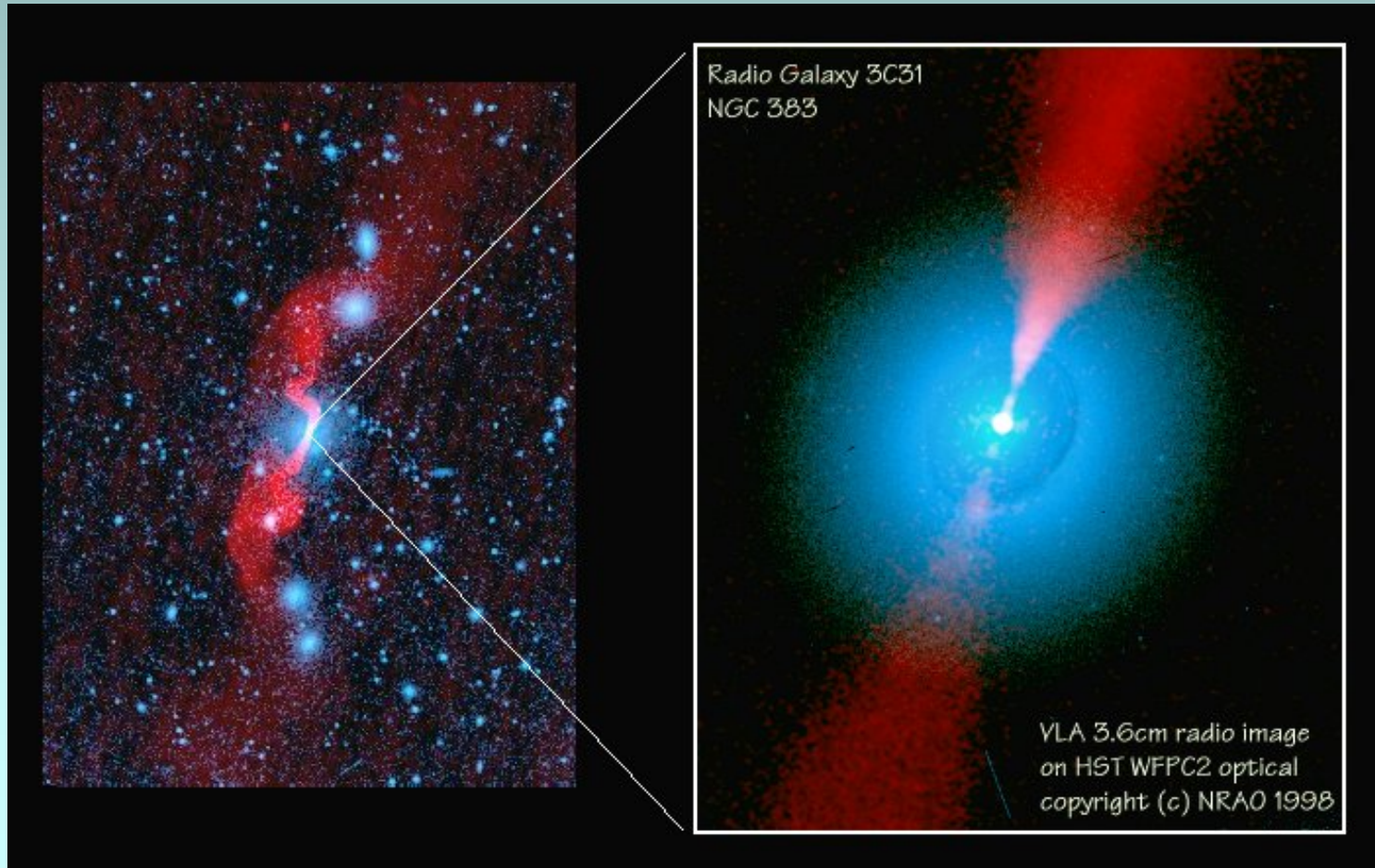


# Ejection de plasma: lobes radio

Cygnus A



# Lobes Radio et Galaxie visible



# Trous noirs binaires

- Une galaxie géante aujourd'hui est le résultat de  $\sim 10$  fusions durant l'âge de l'Univers
- Lorsque deux galaxies fusionnent, leurs trous noirs tombent au centre par friction dynamique

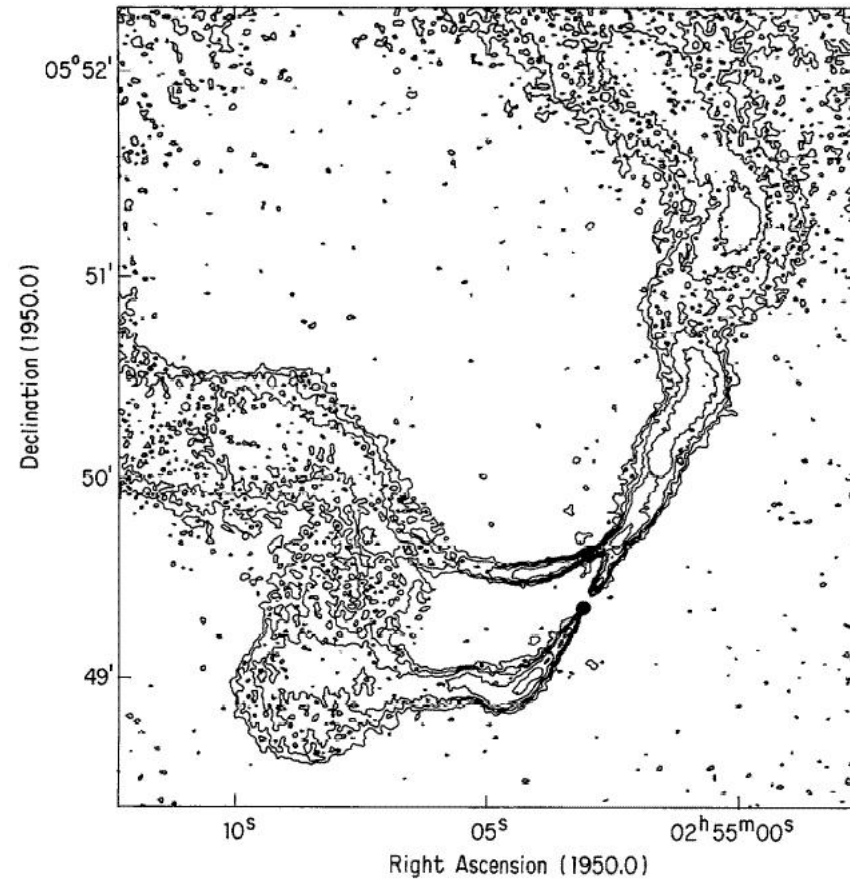
Durée de vie du système binaire?

Effet de fronde d'un troisième trou noir?



Collision entre deux trous noirs, formation d'un trou noir binaire

Formation de 4 jets avec deux trous noirs massifs





# Galaxies dans l'Univers jeune



Voir plus loin, c'est remonter dans le temps

Aujourd'hui jusqu'à  $z \sim 6$   
(ou 95% de l'âge de l'Univers)

Galaxies plus nombreuses

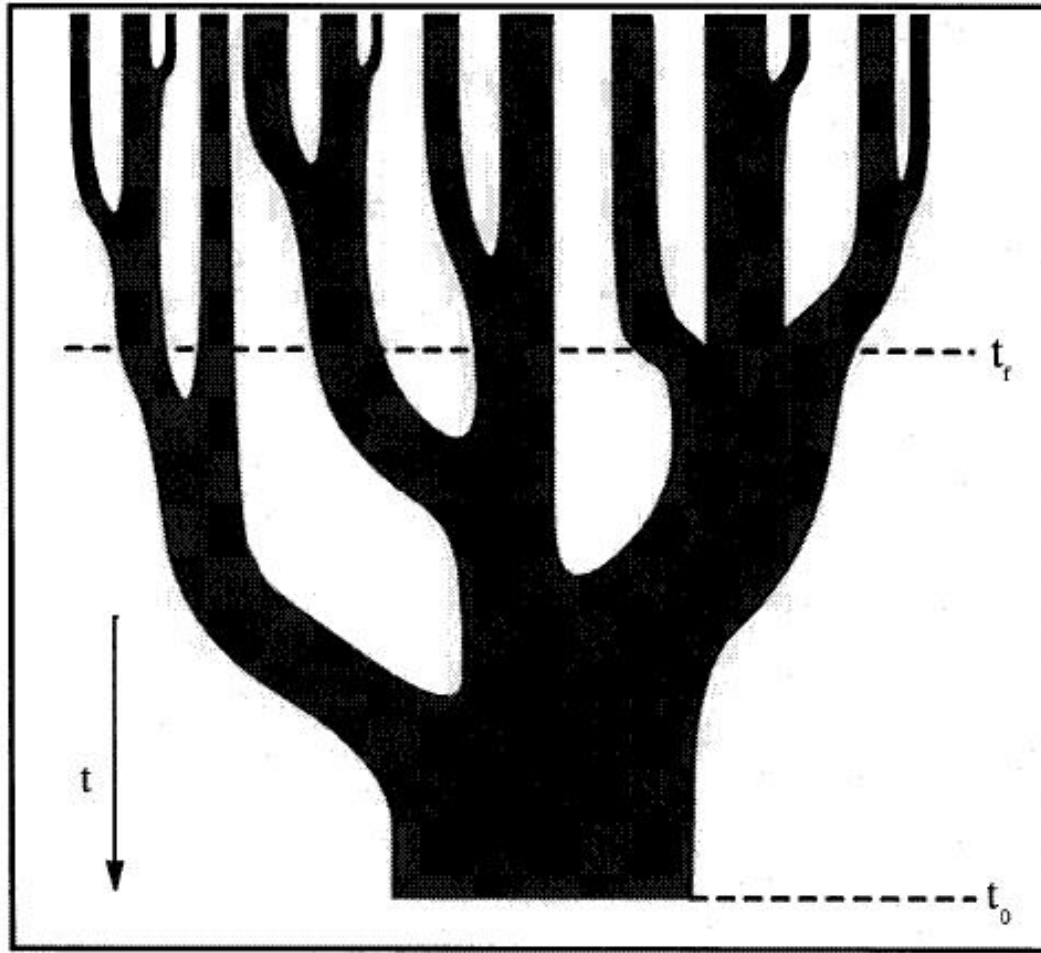
Formation de plus  
d'étoiles

Noyaux plus actifs





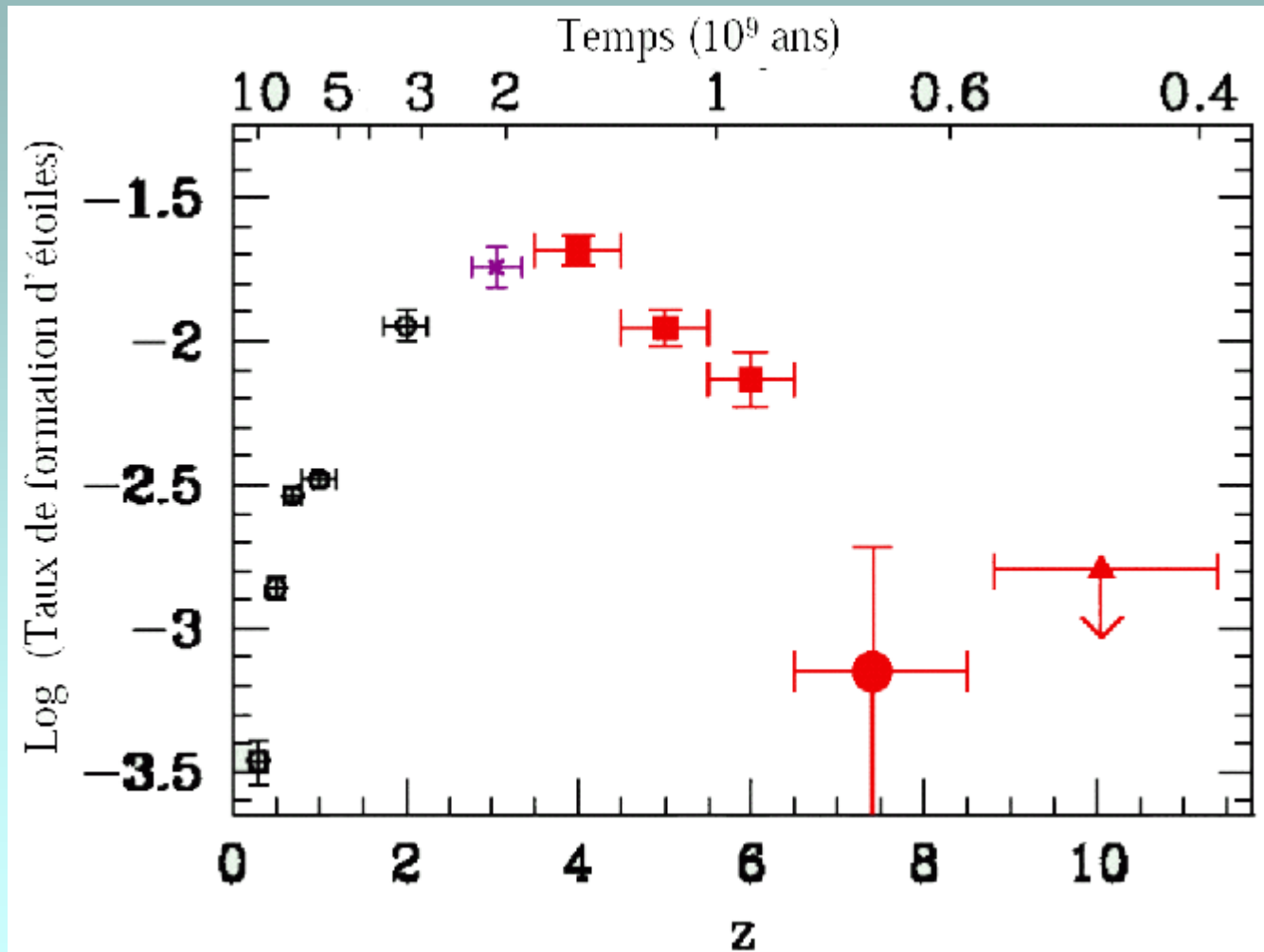
# Formation hiérarchique des galaxies



Les galaxies étaient plus petites et plus nombreuses

**Selon l'environnement** les galaxies évoluent à différentes vitesses

# Histoire de la formation des étoiles



Taux de formation d'étoiles en fonction du temps

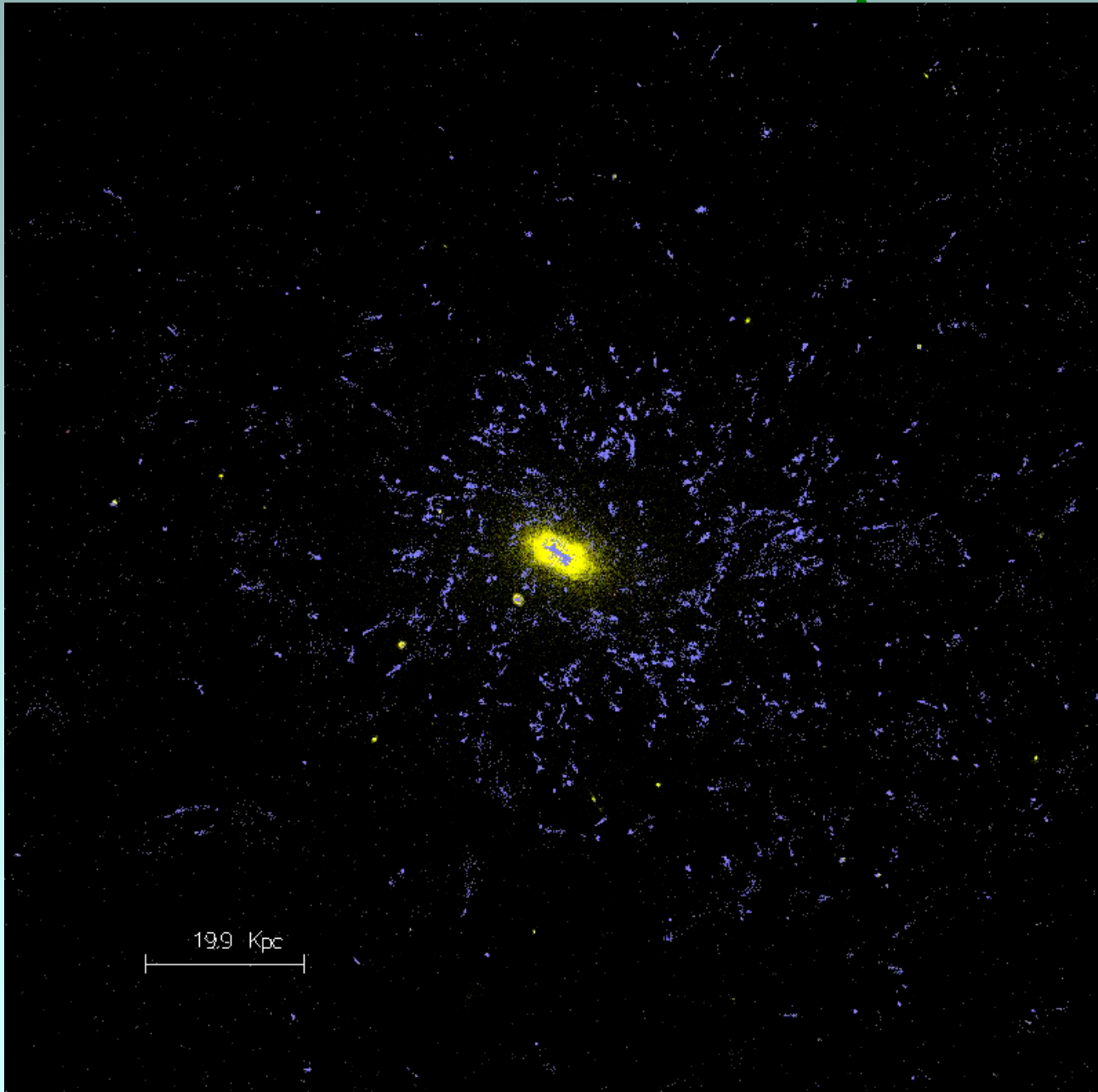




Interactions entre  
galaxies

Ultra-lumineuses  
toujours des  
fusions de  
galaxies

# Croissance de la masse par fusion



# Epilogue

Les galaxies sont en pleine évolution, grossissent par interactions,  
Forment des bulbes

Les disques se renouvellent sans cesse par accrétion de gaz externe

Les **trous noirs massifs** se forment de la même façon que les bulbes

- évolution interne par les barres/spirales,
- externe par les interactions entre galaxies

La période de flambées de formation d'étoiles est terminée

→ l'Univers était plus actif autrefois